



Universidad
Carlos III de Madrid

Departamento de Ingeniería de Organización

PROYECTO FIN DE CARRERA

Desarrollo e implementación de una aplicación de valoración de Opciones financieras mediante algoritmos de optimización

Autora: Andrea Cerpa Moreno

Tutor: Alberto Fernández Torres

Director: Juan Granado Francés

Codirector: Cristobal González Almirón

Leganés, Julio de 2013

A mis padres, por su apoyo incondicional.

Resumen

En este proyecto veremos el proceso completo de desarrollo de una aplicación Web de valoración de opciones financieras. Desde la documentación sobre qué es un derivado financiero, en especial una opción, junto con sus métodos y parámetros de valoración hasta la implementación.

Abstract

This project reflects the full development process of a Webapp of Option Pricing. From the documentation about financial derivatives and their pricing methods until the implementation of the application.

Índice:

Capítulo 1: Introducción y objetivos	10
1.1 Motivación	10
1.2 Objetivo del Proyecto.....	11
1.3 Plan de realización	11
1.4 Breve descripción del proyecto	12
Capítulo 2: Los derivados financieros	13
2.1 ¿Qué son los derivados financieros?.....	13
2.1.1 Características principales de los derivados financieros	13
2.2 Clasificación de los derivados financieros.....	14
2.2.1 Tipos de contratos de derivados financieros.....	14
2.2.2 Complejidad del contrato	18
2.2.3 Mercados de contratación y negociación.....	19
2.2.4 Activo Subyacente	22
2.2.5 Finalidad del contrato.....	22
2.2 Las opciones	23
2.2.1 Tipos de opciones:	24
2.2.2 Valoración de una opción: Factores que intervienen y cómo intervienen.	30
Capítulo 3: Métodos de valoración de Opciones	37
3.1 En método del árbol binomial.....	37
3.1.1 Generalización del modelo con n pasos	42
3.1.1 Valoración de opciones Put.....	44
3.1.2 Valoración de opciones con dividendos	44
3.1.3 Delta.....	44
3.2 Black-Scholes.....	45
3.1.1 Aproximación para dividendos.....	48
Capítulo 4: Desarrollo de algoritmos de Valoración y codificación	49
4.1 Código Binomial	49
4.1.1 Opción Americana Call con dividendos	49
4.1.2 Opción Europea Put.....	50
4.2 Código Black Scholes.....	51
4.2.1 Opción Europea Call	51
Capítulo 5: Desarrollo de la aplicación	52
5.1 Análisis de requisitos.....	52
5.1.1 Requisitos de la base de datos	52
5.1.2 Valores de Entrada	53

5.1.3	Restricciones de los Valores de Entrada.....	54
5.1.4	Requisitos de funcionalidades	54
5.2	<i>Diseño de la interfaz de la aplicación</i>	54
5.3	<i>Arquitectura de la aplicación</i>	56
5.4	<i>Frameworks, tecnologías y entornos de desarrollo</i>	57
5.5	<i>Base de datos</i>	58
5.5.1	<i>Captura de datos</i>	58
5.5.2	<i>Esquema</i>	59
5.6	<i>La implementación de la aplicación</i>	60
5.7	<i>Capturas de pantalla</i>	63
5.8	<i>Manual de uso del aplicativo</i>	64
5.8.1	<i>Valoración de opciones sobre acciones o “Stock Options”</i>	64
5.8.2	<i>Valoración de índices (mini-IBEX)</i>	70
Capítulo 6: Aplicaciones existentes en el mercado		72
Capítulo 7: Posibles mejoras y extensiones		75
7.1	<i>Mejoras</i>	75
7.2	<i>Extensiones</i>	75
Capítulo 8: Presupuesto		77
9.1	<i>Tareas y Gantt</i>	77
9.2	<i>Recursos</i>	79
9.1	<i>Presupuesto</i>	79
Conclusiones		80
Referencias		81

Ilustraciones:

ILUSTRACIÓN 1 - VOLUMEN DEL MERCADO DE DERIVADOS. FUENTE: ZERO HEDGE	10
ILUSTRACIÓN-2 - BENEFICIO / PÉRDIDA - FORWARD	15
ILUSTRACIÓN 3 - EJEMPLO SWAP.....	17
ILUSTRACIÓN 4 - TABLA COMPARATIVA ENTRE LOS DERIVADOS FINANCIEROS	18
ILUSTRACIÓN 5 - ESTRUCTURA DEL MERCADO DE VALORES ESPAÑOL. FUENTE CNMV	20
ILUSTRACIÓN 6 - VOLUMEN MERCADO OTC.....	21
ILUSTRACIÓN 7 - EJEMPLO DE COBERTURA CON OPCIONES	23
ILUSTRACIÓN 8 - OPCIÓN: LONG CALL	26
ILUSTRACIÓN 9 - OPCIÓN: LONG PUT	28
ILUSTRACIÓN 10 - OPCIÓN: SHORT CALL	28
ILUSTRACIÓN 11 - OPCIÓN: SHORT PUT.....	30
ILUSTRACIÓN 12 - BOLETÍN DEUDA PÚBLICA - BANCO DE ESPAÑA	31
ILUSTRACIÓN 13 - DATOS IMPORTANTES PARA LA ETTI	32
ILUSTRACIÓN 14 - EJEMPLO DE AJUSTE ETTI.....	33
ILUSTRACIÓN 15 - FUNCIÓN DE AJUSTE POR EL MÉTODO NELSON - SIEGEL.....	33
ILUSTRACIÓN 16 - AJUSTE CUADRÁTICO	33
ILUSTRACIÓN 17 - RETORNOS ARITMÉTICOS Y LOGARÍTMICOS	35
ILUSTRACIÓN 18 - FACTORES QUE AFECTAN A LA VALORACIÓN DE OPCIONES	36
ILUSTRACIÓN 19 - ÁRBOL BINOMIAL DE UN PASO.....	38
ILUSTRACIÓN 20 - OBTENCIÓN DE PRECIO DE OPCIÓN CALL MEDIANTE ÁRBOL BINOMIAL DE UN PASO 38	
ILUSTRACIÓN 21 - ÁRBOL BINOMIAL: VALORACIÓN CON UNA CARTERA DE RIESGO NEUTRAL.....	38
ILUSTRACIÓN 22 - ÁRBOL BINOMIAL: EJEMPLO DE UN PASO CON VALORES	40
ILUSTRACIÓN 23 - ÁRBOL BINOMIAL: EJEMPLO CON VALORES Y PROBABILIDAD P	41
ILUSTRACIÓN 24 - ÁRBOL BINOMIAL DE DOS PASOS	41
ILUSTRACIÓN 25 - EVOLUCIÓN DE VALORACIÓN CON EL NÚMERO DE PASOS DEL ÁRBOL BINOMIAL	43
ILUSTRACIÓN 26 - CONVERGENCIA DEL MÉTODO BINOMIAL A BLACK-SCHOLES.....	45
ILUSTRACIÓN 27 - FÓRMULA DE BLACK-SCHOLES	47
ILUSTRACIÓN 28: DISEÑO DE LA APLICACIÓN	55
ILUSTRACIÓN 29 - HISTÓRICO DE PRECIOS YAHOO FINANCE	58
ILUSTRACIÓN 30 - CONSOLA R CRAN: COMANDO YIELD CURVE.....	59
ILUSTRACIÓN 31 - EXPRESIÓN DE LA FUNCIÓN DE NELSON-SIEGEL	59
ILUSTRACIÓN 32 - ESQUEMA DE BASE DE DATOS DE LA APLICACIÓN	60
ILUSTRACIÓN 33 - ESTRUCTURA DE DIRECTORIO DE LA APLICACIÓN	61
ILUSTRACIÓN 34 - ESTRUCTURA DE DIRECTORIO SRC/MAIN/JAVA	62
ILUSTRACIÓN 35 - PORTADA DE LA APLICACIÓN.....	63
ILUSTRACIÓN 36 - PANTALLA DE VALORACIÓN DE OPCIONES.....	63
ILUSTRACIÓN 37 - APLICACIÓN: SELECCIÓN DE FECHA DE VALORACIÓN	64
ILUSTRACIÓN 38 - APLICACIÓN: SELECCIÓN DE TIPO DE OPCIÓN.....	65
ILUSTRACIÓN 39 - APLICACIÓN: SELECCIÓN DE ALGORITMO DE VALORACIÓN.....	65
ILUSTRACIÓN 40 - APLICACIÓN: SELECCIÓN DE MULTIPLICADOR.....	66

ILUSTRACIÓN 41 - APLICACIÓN: SELECCIÓN DE STOCK.....	66
ILUSTRACIÓN 42 - APLICACIÓN: CONSULTA AUTOMÁTICA SE SPOT Y VOLATILIDAD	67
ILUSTRACIÓN 43 - APLICACIÓN: SELECCIÓN DE VENCIMIENTO	67
ILUSTRACIÓN 44 - APLICACIÓN: CONSULTA DE TIPO DE INTERÉS.....	68
ILUSTRACIÓN 45 - APLICACIÓN: SELECCIÓN DE DIVIDENDOS	68
ILUSTRACIÓN 46 - APLICACIÓN: DIVIDENDOS DISCRETOS	69
ILUSTRACIÓN 47 - APLICACIÓN: VALORACIÓN	69
ILUSTRACIÓN 48 - APLICACIÓN: RESET	70
ILUSTRACIÓN 49 - APLICACIÓN: SELECCIÓN DE ÍNDICE MINI-IBEX	71
ILUSTRACIÓN 50 - APLICACIÓN: VALORACIÓN MINI-IBEX.....	71
ILUSTRACIÓN 51 - CALCULADORA DE OPCIONES LONDON METAL EXCHANGE.....	72
ILUSTRACIÓN 52 - CALCULADORA DE OPCIONES MEFF	73
ILUSTRACIÓN 53 - TERMINAL BLOOMBERG: OPCIONES	74

Capítulo 1: Introducción y objetivos

1.1 Motivación

Hoy en día, cuando se habla del mundo financiero, se habla por excelencia de los productos derivados. Éstos productos proporcionan al inversor la posibilidad de obtener los beneficios de un mercado al que no puede acceder, cubrir sus carteras de inversión, especular, etc. Dentro de estos productos encontramos a las opciones como uno de los más importantes productos derivados.

En las últimas décadas el mercado de derivados ha crecido exponencialmente. A inicios de 1998 el volumen negociado de estos instrumentos no alcanzaba los 2,5 trillones de dólares y en 2008 alcanzó el máximo de 35 trillones de dólares¹. Es importante resaltar que la mayoría de estos productos no son nuevos ya que existen hace muchas décadas.

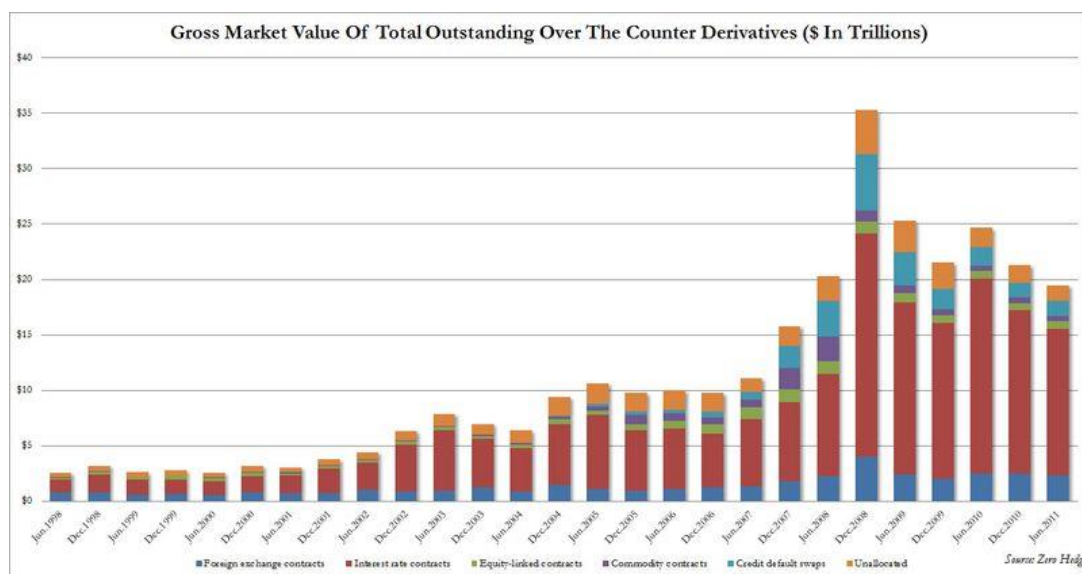


Ilustración 1 - Volumen del mercado de derivados. Fuente: Zero Hedge

¹ Sin embargo medios fiables como “The Economist” aproximaron el tamaño del mercado OTC en 700 trillones de dólares.

Aunque estos productos han recibido el título de armas de destrucción masiva en contadas ocasiones² no tienen por qué ser algo negativo. Se pueden utilizar tanto para disminuir el riesgo de las carteras de inversión como para hacer apuestas de especulación. Sin embargo, sus principales problemas son la dificultad de medir el riesgo que presentan debido a su elevado apalancamiento y su valoración cuando se trata de productos complicados.

La meta de este proyecto es que el lector adquiera un conocimiento claro acerca de estos productos y en especial de las opciones financieras. A lo largo de este documento se cubrirá todo este proceso de aprendizaje. Desde la teoría básica de los derivados financieros, la explicación específica de las opciones financieras, sus métodos de valoración y finalmente la implementación de una aplicación como producto final.

Espero que este documento sea de su agrado.

1.2 Objetivo del Proyecto

El objetivo de este proyecto es la implementación de una aplicación de valoración de opciones financieras. Para lograr dicho objetivo se partirá de la documentación necesaria acerca de los derivados financieros y sus características. A continuación, se profundizará en las opciones y su valoración.

Una vez adquirido este conocimiento se emplearán todos los elementos para implementar una aplicación Web con la que el usuario podrá valorar opciones financieras.

1.3 Plan de realización

Para cumplir con el objetivo del proyecto se han dividido las tareas en tres fases:

- Documentación previa sobre los derivados financieros y sus características.
- Profundización en las opciones financieras, sus tipos, factores que afectan a su valoración y métodos de valoración.
- Implementación de la aplicación utilizando la última tecnología en aplicaciones Web empresariales en lenguaje Java.

² René M. Stulz (2004). Should we fear derivatives? Journal of Economic Perspectives

1.4 Breve descripción del proyecto

Este documento está compuesto por ocho capítulos y el apartado de conclusiones. A continuación un breve resumen de cada uno de ellos:

- Introducción y objetivos
- Los derivados financieros: En esta sección se explican los derivados financieros. Se cubren aspectos como: tipos, mercados, finalidad, etc. A continuación se explica el funcionamiento de los principales tipos de derivados financieros lineales como los forwards y los futuros. Luego se profundiza en las opciones financieras como producto derivado. Finalmente se explica cada uno de los factores que influyen en la valoración de las opciones.
- Métodos de valoración de opciones “plain vanilla”: Se explica el método de valoración de los dos métodos más importantes: Binomial y Black-Scholes.
- Desarrollo de algoritmos de valoración y codificación: Se incluyen ejemplos de la codificación de varios tipos de opciones explicando el algoritmo implementado.
- Desarrollo de la aplicación: En este capítulo se siguen todos los pasos del ciclo de vida de la aplicación. Desde el análisis de requisitos de alto nivel, las tecnologías que se han de emplear para cumplir con cada requisito, la función de cada tecnología, la arquitectura de la aplicación y finalmente la implementación en el entorno de desarrollo adecuado.
- Aplicaciones existentes en el mercado: Se realiza un breve análisis de productos similares en el mercado.
- Posibles mejoras y extensiones: Se proponen mejoras y extensiones de la aplicación.
- Presupuesto: Se explican las tareas del proyecto junto con el correspondiente diagrama de Gantt y presupuesto aproximado.
- Conclusiones

Capítulo 2: Los derivados financieros

A lo largo de este capítulo se dará una visión global de los derivados financieros, sus características y los mercados en los que operan.

A continuación nos centraremos en las opciones financieras y todos los factores que intervienen en su valoración.

2.1 ¿Qué son los derivados financieros?

Un derivado financiero es un producto financiero cuyo valor está basado en el precio de otro activo. En otras palabras, el valor de un instrumento derivado no se puede saber de forma directa. El precio dependerá de otro activo al cual llamamos *activo subyacente*.

Un ejemplo sería un derivado financiero sobre una acción del banco Santander. El precio del derivado financiero cambiará según los movimientos de la acción. También se suele llamar al precio del activo subyacente “precio *spot*”.

Sin embargo, el activo subyacente no tiene que ser una acción. Puede ser muchas cosas como: índices bursátiles, valores de productos de renta fija, tipos de interés, commodities³, etc.

2.1.1 Características principales de los derivados financieros

- Su valor cambia en respuesta a los cambios en el precio del activo subyacente.
- Se liquidan en fechas futuras (y que en el fondo son un contrato como cualquier otro).
- El contrato puede requerir o no una inversión inicial relacionada con el activo subyacente. Esta inversión es muy pequeña comparada con otros contratos que ofrecen cambios parecidos según el movimiento del mercado. Por lo tanto con una inversión mucho menor a la del activo subyacente el inversor puede tener mayores ganancias o pérdidas que invirtiendo la misma cantidad en otro producto (que no sea otro derivado). Esto se debe a que el apalancamiento en un contrato de opción es mucho mayor que el que puede tener una acción.

³ Un commodity es una materia prima que se necesita para producir bienes y/o servicios. El precio de estas materias primas cotiza en bolsa. Ejemplos conocidos son: petróleo, oro, café, etc.

- Pueden cotizar en mercados organizados y no organizados.

2.2 Clasificación de los derivados financieros

La tipología de los derivados financieros puede dividirse en función de los siguientes parámetros:

- Lugar de contratación y negociación.
- Tipo de contrato.
- Complejidad del contrato.
- Activo Subyacente.
- Finalidad del contrato.

A continuación se detallará cada uno de estos parámetros:

2.2.1 Tipos de contratos de derivados financieros

Seguidamente, se describen los principales derivados financieros en orden creciente de complejidad. También se incluyen ejemplos para facilitar su entendimiento.

2.2.1.1 *Forwards*

Un contrato *forward* es un pacto entre dos partes donde una de las cuales se compromete a vender y otra a comprar una cantidad de un activo o producto a un precio y tiempo determinado.

El que asume el compromiso de vender estará tomando una “posición corta” y el que asume la obligación de comprar estará tomando una “posición larga”.

El valor del contrato propiamente dicho es cero. Sin embargo el contrato tendrá el precio al cual el que tomó la posición larga está obligado a pagar al momento del vencimiento.

Aunque hay muchas maneras de calcular el precio en general el precio se calcula como el valor futuro del activo en la fecha inicial del contrato.

Las fechas del contrato se deciden a medida de los que van a tomar el contrato. La negociación de este tipo de productos financieros se realiza en mercados no regulados u *OTC (over the counter)* que explicaremos más adelante.

Por ejemplo:

Dos partes deciden contraer un contrato forward para la compra de una acción. Actualmente el valor de la acción es de 40 euros y el tipo de interés es del 13%.

Las partes acuerdan que la liquidación del contrato será en un año.

¿Cuál será el precio del contrato de forward?

El precio será el valor futuro de la acción capitalizada a un año con la tasa libre de riesgo:

$$\text{Precio} = 40 * (1 + 0.13)^1 = 45.28 \text{ €}$$

Un año después ambas partes liquidarán el contrato y el que tomó la posición corta tendrá que vender la acción a 45.28€ y el que tomó la posición larga lo tendrá que comprar.

¿Y cuánto se gana o pierde?

Para saber este dato tendremos que saber cuánto vale el subyacente:

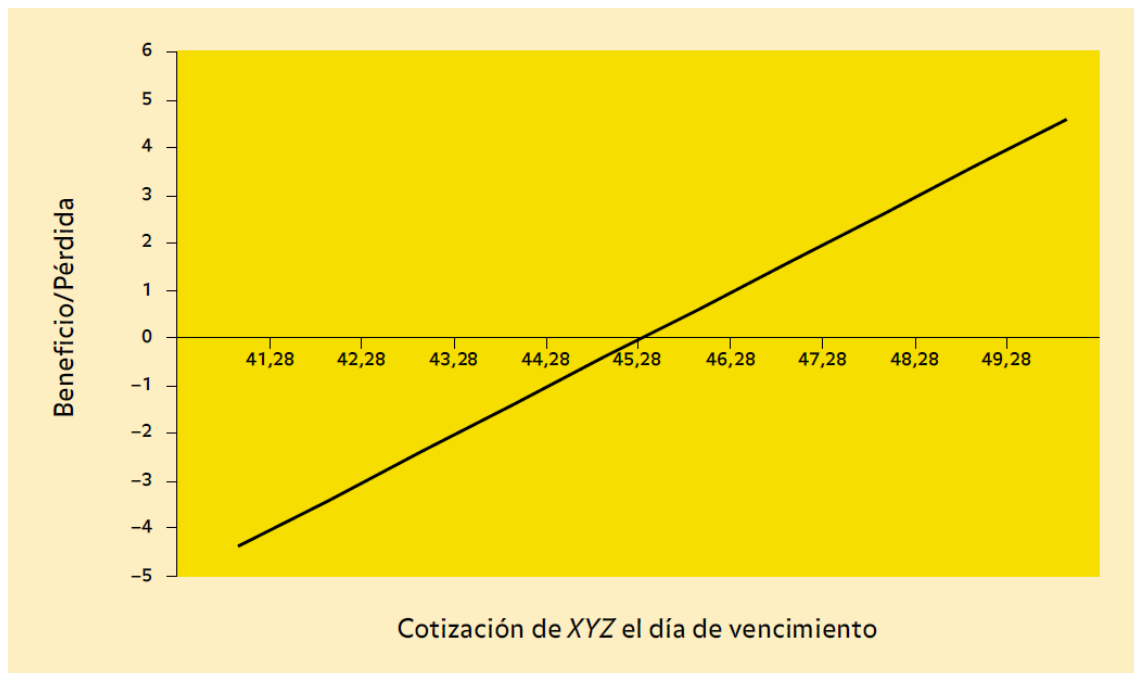


Ilustración-2 - Beneficio / pérdida - Forward

Si el precio del activo subyacente al vencimiento del contrato vale más que 45,28€: el que tomó la posición larga obtendrá beneficios y el que tomó la posición corta asumirá pérdidas.

Ocurrirá lo contrario si el precio baja de 45,28€.

2.1.1.1 Futuros

Los futuros son exactamente iguales que los forwards con la diferencia de que las fechas, volúmenes de negociación y activos subyacentes están regulados por un mercado organizado.

En el caso de España el mercado organizado donde se opera con este tipo de contratos es el MEFF (Mercado Español de Futuros Financieros).

2.1.1.2 SWAPS

Una permuta financiera o SWAP es un contrato por el cual dos partes intercambian cantidades de dinero en ciertas fechas futuras. Se considera un swap cualquier intercambio futuro de bienes o servicios. Sin embargo los swaps más habituales son sobre tipos de interés o divisas.

En general el contrato de permuta financiera se hace a través de una institución financiera la cual aplica un interés a cada uno de los participantes del contrato.

Un ejemplo:

General Motors pretende pedir un préstamo de 20 millones de dólares australianos mientras que Quantas airlines pretende pedir un préstamo de 12 millones de dólares americanos.

En ese momento el tipo de cambio en el mercado es de 0.6 dólares americanos por dólar australiano.

Los tipos de interés que se les ofrece a cada una de las compañías son:

	USD	AUD
GM	5%	12.6%
Quantas	7%	13%

Vemos que General Motors tiene tipos de interés más bajos con respecto a Quantas. Sin embargo Quantas tiene una ventaja en el tipo de interés en el dólar australiano así como General Motors tiene una ventaja en el dólar americano.

La solución para estas empresas es contratar una permuta financiera por medio de una institución financiera.

De esta manera GM consigue un tipo más bajo para su préstamo en dólares australianos a cambio de utilizar su ventaja actual en el tipo de interés del dólar americano.

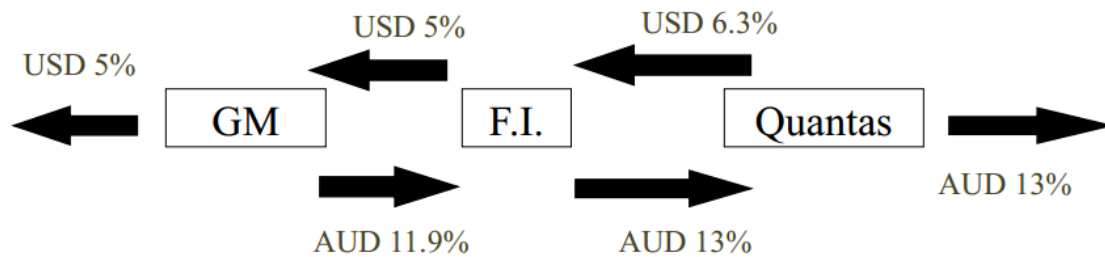


Ilustración 3 - Ejemplo SWAP

La institución financiera cobrará una comisión por la transacción. En el ejemplo podemos calcularla:

$$\text{Comisión} = (6.3 - 5) + (11.9 - 13) = 0.2\%$$

En general la comisión de la institución financiera ronda por 0.1-0.5%.

2.1.1.3 Opciones

Una opción financiera es un derivado financiero en el que se establece un contrato en el que el comprador de la opción tiene la posibilidad (es decir que tiene el derecho pero no la obligación) de comprar el activo subyacente en una fecha determinada, precio determinado, etc.

Aunque nos extenderemos en las opciones en capítulos posteriores existen dos tipos de opciones: *Call* (opción para comprar el subyacente a un determinado precio) y *Put* (opción para vender el subyacente a un determinado precio). Además, como todo activo se puede comprar (posición larga) o vender (posición corta). La valoración de este tipo de contratos es bastante compleja y se explicará también en capítulos posteriores.

2.1.1.4 Contratos por diferencia o CFD

El contrato por diferencia o en inglés CFD (Contract for difference) es un contrato en el que el titular del contrato intercambia la diferencia de precio de un activo subyacente desde su apertura hasta el momento de cierre del día de cotización.

Es un producto con elevado apalancamiento⁴ y como todo derivado financiero no es necesario poseer el activo subyacente para poder comprar el contrato.

⁴ El apalancamiento es la relación entre crédito y capital propio invertido en una operación financiera. Al reducir el capital inicial que es necesario aportar, se produce un aumento de la rentabilidad obtenida. Un incremento del apalancamiento, además aumenta los riesgos de la operación debido a la menor flexibilidad o mayor exposición a la incapacidad de atender los pagos.

En España es un producto relativamente nuevo ya que se introdujo en 2007. Son una herramienta que actualmente es utilizada por pequeños inversores. Sin embargo este producto presenta un crecimiento en el nivel de contratación bastante alto y está ganando terreno a la inversión tradicional gracias a sus ventajas, flexibilidad de operación y fácil acceso.

La negociación de estos contratos se realiza en mercados OTC y por lo general se le exige al inversor un pequeño depósito de garantía.

2.1.1.5 Resumen: Tipos de contratos

A continuación se presenta una tabla comparativa con los derivados financieros para proporcionar una visión global:

Características	Acciones	Opciones	Futuros	CFDs
Transparencia	Sí	No	Sí	Sí
Mercado organizado	Sí	Sí	Sí	No
Apalancamiento	No	Sí	Sí	Sí
Coste de financiación	No	No	No	Sí
Pérdida potencial limitada	Sí	Sí	No	No
Posición corta	No	Sí	Sí	Sí
Coste de mantenimiento	Sí	Sí	Sí	No
Sin custodias	No	No	Sí	Sí
Pagos de dividendos	Sí	No	No	Sí
Coste por abono de dividendos	Sí	No	No	No
Canon bolsa/cámara	Sí	Sí	Sí	No

Ilustración 4 - Tabla comparativa entre los derivados financieros

2.1.2 Complejidad del contrato

Según la complejidad del contrato los derivados financieros pueden ser:

- Estándar plain vanilla: Los productos plain vanilla son productos simples que se pueden valorar usualmente por fórmulas cerradas o por métodos recursivos simples como el binomial.
- Exóticos: Se denomina producto exótico a todo derivado financiero no tradicional. Suelen tener características específicas, lo cual hace que generalmente no exista valoración por fórmula cerrada. Normalmente se valoran por métodos de simulación.

2.1.3 Mercados de contratación y negociación

Los mercados donde se opera con derivados financieros son los mercados organizados y los no organizados u *OTC*.

2.1.3.1 Mercados organizados

Los mercados organizados son aquellos donde existe una cámara de compensación y liquidación ("Clearing house") que se encarga de ser el intermediario entre los compradores y vendedores de activos.

Las funciones de la entidad encargada de la liquidación de operaciones o "clearing house" son:

- Actúan como agente de contrapartida en las transacciones.
- Eliminan el riesgo de contrapartida, y ya que se hacen cargo de la liquidación de las transacciones, evitan que la contrapartida quede en situación de impago.
- Asegura el anonimato del inversor.
- Supervisa y controla los movimientos y liquidaciones de manera diaria.
- Garantiza las operaciones: Garantiza las operaciones exigiendo depósitos de garantía que se actualizan según el valor de los contratos que estén incluidos en la cuenta del inversor.

En este tipo de mercados la liquidación de pérdidas y ganancias se realiza de manera diaria.

Además en estos mercados los productos son estandarizados. Esto quiere decir que solo se contemplan determinados activos subyacentes, plazos, tamaños de contrato, etc.

Principales mercados organizados del mundo:

- Chicago Board of Trade: www.cbot.com
- Chicago Mercantile Exchange: www.cme.com
- Chicago Board of Options Exchange: www.cboe.com
- NYMEX: www.nymex.com
- Euronext: www.euronext.com
- Eurex: www.eurex.com

En España el mercado de valores se distribuye de la siguiente manera:



Ilustración 5 - Estructura del mercado de valores español. Fuente CNMV

Como se puede apreciar en el gráfico la entidad encargada de la comercialización y liquidación de los derivados financieros es el MEFF⁵

El mercado de valores de España se divide en tres grupos:

- Mercado de derivados: Se comercializa en MEFF y es supervisado por la comisión nacional del mercado de valores.
- Mercado bursátil: Se comercializa en las principales bolsas y es supervisado por la comisión nacional del mercado de valores.
- Mercado de deuda pública: Lo comercializa y supervisa el banco de España mediante un control de anotaciones.

2.1.3.2 Mercados OTC

Los mercados OTC u “Over the counter” son los mercados no organizados. Esto quiere decir que la negociación se realiza bilateralmente con el inversor y los productos están hechos a medida.

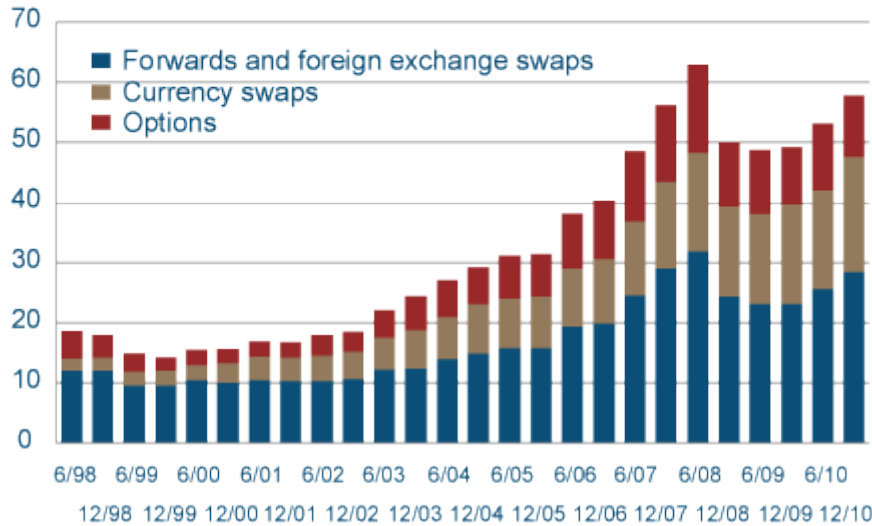
Es importante resaltar que este mercado es el más grande y su volumen de negociación corresponde a cerca del 90% de las transacciones a nivel mundial⁶. Por lo tanto este mercado es una importante alternativa para la negociación de valores.

⁵ <http://www.meff.es/?id=esp>

⁶ Dato proporcionado por Bank for international Settlements.

Foreign Exchange Contracts: Notional Amounts Outstanding

Trillions of U.S. dollars



Source: Bank for International Settlements.

Ilustración 6 - Volumen mercado OTC

Las características principales de este mercado son:

- Es una red de trading telefónica o virtual donde las contrapartes no se reúnen.
- Las transacciones se hacen por lo general mediante instituciones financieras.
- Los productos de este mercado son hechos a medida de los requerimientos del cliente.
- Por lo general no se requiere fondos de garantía para la contratación de los productos (aunque se exige colateral).
- Es un mercado con menor liquidez que el mercado organizado.
- El riesgo de contraparte es mayor (lo cual incrementa la importancia de la reputación de las contrapartidas).

Después de 2007 la norma general es colateralizar⁷. Los movimientos de colateral dependen de los MTAs (Minimum transfer amounts) y la exposición al crédito que ambas partidas están preparadas para aceptar antes de solicitar un colateral (Threshold amounts).

⁷ Desde enero de 2013 la mayoría de las OTC deben contar con una liquidación de posiciones mediante una contrapartida central (CCP) y dicha información debe ser reportada a repositorios de trading. Regulación: EMIR (The european Market Infrastructures Regualtion).

2.1.4 Activo Subyacente

El activo subyacente es el activo del cual depende el derivado financiero. El activo subyacente puede ser cualquier cosa como:

- Acciones
- Bonos del estado
- Futuros
- Commodities
- SWAPS
- Divisas
- El clima⁸
- Fondos inmobiliarios
- Cédulas hipotecarias
- Eventos de crédito⁹
- CDO¹⁰ (Collateralized debt obligation)

Evidentemente cuanto más complejo es el activo subyacente la valoración del derivado será más compleja, en especial cuando el activo subyacente es también un derivado.

Un ejemplo de un derivado que tiene como subyacente otro derivado son las *swaptions*. Éste producto consiste en una opción para que el inversor entre en un contrato de *swap*.

2.1.5 Finalidad del contrato

Los derivados financieros pueden ser contratados por tres motivos:

- Especulación con el precio del subyacente.
- Cobertura: Como herramienta para disminuir el riesgo tomando la posición contraria en un mercado cuando tienes el subyacente.
- Arbitraje: Como práctica de tomar ventaja de la diferencia de precios entre dos mercados. Pese a que la valoración de todo derivado financiero se basa en la no existencia de la posibilidad de arbitraje esta posibilidad existe. Sin embargo se asume que no existe ya que en el caso de existir duraría segundos y el mercado se reajustaría a la condición de no arbitraje.

⁸ Los derivados financieros que tienen como activo subyacente el clima, por lo general, toman como medida el máximo de la diferencia entre la temperatura media diaria y una temperatura base.

⁹ Un ejemplo son los credit default swaps:

https://en.wikipedia.org/wiki/Credit_default_swap#Market_growth

¹⁰ Pese a que no profundizaremos en este instrumento financiero en este documento, los CDO son productos estructurados compuestos por varios derivados financieros que prometían un pago fijo con una escala de riesgo de impago determinada. Este producto jugó un papel importante en el colapso financiero de 2008.

A continuación vemos una imagen con un ejemplo de cobertura utilizando opciones financieras. Se trata de una estrategia de cobertura para el combustible.

Vemos que el comportamiento del precio de mercado sigue la línea azul y no está acotado. Mediante una inversión poco significativa frente al precio del combustible podemos lograr aminorar el riesgo y hacer que el precio se comporte de una manera acotada (líneas roja y verde).

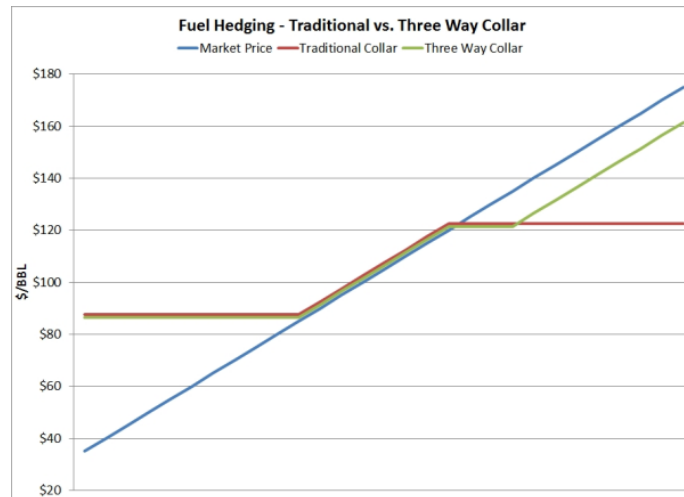


Ilustración 7 - Ejemplo de cobertura con opciones

2.2 Las opciones

Ahora que ya tenemos una idea general de los derivados financieros nos adentraremos en las opciones financieras. Tal como se ha explicado en apartados previos una opción es un contrato mediante el cual el portador tiene la posibilidad y no la obligación de comprar o vender el activo subyacente en una fecha y plazo determinado.

Evidentemente como no existe una obligación de compra/venta del subyacente en estos contratos tienen una prima a pagar por el comprador de la opción que depende de muchos factores. Esta es la principal diferencia con respecto de los forwards y los futuros ya que en estos contratos no se tenía que pagar nada para poder adquirir el producto financiero (salvo algún tipo de garantía si se trataba de un mercado organizado).

En los siguientes puntos detallaremos el funcionamiento las principales posiciones y posteriormente veremos todos los factores que determinan el precio de la prima a pagar por la adquisición del contrato.

2.2.1 Tipos de opciones:

Como hemos visto en puntos anteriores los tipos de opciones son Call y Put. Sin embargo cuando una persona compra una opción (posición larga) otra persona está vendiendo dicho contrato (estará tomando una posición corta).

Aparte de esta clasificación debemos tener en cuenta que una opción (plain vanilla) puede ser americana o europea. La única diferencia entre ellas es que la opción europea solo se puede ejercer en la fecha de vencimiento y la americana se puede ejercer en cualquier fecha previa incluyendo el vencimiento.

En el mercado de derivados no hace falta tener el subyacente para poder vender el contrato. Es decir, que puedes tomar una posición corta (vender una opción) sin tener el subyacente. Por lo tanto tenemos cuatro estrategias básicas en los contratos de opciones que consistirán en las combinaciones de Call, Put, posición corta, posición larga.

A continuación explicamos cada una de estas estrategias o posiciones básicas (teniendo en cuenta que la opción puede ser americana o europea).

2.2.1.1 Long Call

Al comprar una opción Long Call (Compra de una opción de compra del activo subyacente) el portador de la opción adquiere el derecho de comprar el activo subyacente al precio, vencimiento y cantidad pactada en el contrato.

Sin tener en cuenta el precio del contrato podemos hacernos una idea del payoff (el pago del activo financiero) de esta opción. Claramente dependerá del derivado subyacente.

Como primer caso vamos a suponer que el siguiente ejemplo:

Un inversor adquiere una opción sobre unas acciones que actualmente cotizan a 98€ con las siguientes condiciones:

- Precio de ejercicio: 100€
- Cantidad de acciones: 100 uds.
- Precio de la prima¹¹: 5€ por acción.
- Fecha de vencimiento: 4 meses desde la adquisición del contrato.
- Tipo de contrato de opción: Long Call Europea.

Una vez llegada la fecha de vencimiento existen las siguientes posibilidades en la evolución del activo subyacente:

- Caso 1: Es menor que 100€

¹¹ La prima es la cantidad de dinero que el inversor paga cada contrato de opción.

- Caso 2: Es igual a 100€
- Caso 3: Es mayor que 100€

Empecemos con el primer escenario (caso 1): Si el valor del activo subyacente es menor que 100 es evidente que ya que el comprador de la opción no tiene la obligación de adquirir el activo no va a ejercer su opción ya que si quisiera adquirir el activo sería más barato comprarlo en el mercado donde cotice la acción.

Por lo tanto la respuesta del caso 1 es que el portador de la opción no ejerce su derecho.

Vayamos ahora al caso 3: En este caso el precio del activo subyacente es mayor que 100. El dueño de la opción está en una situación de ventaja ya que tiene la posibilidad de adquirir el subyacente de manera más barata ejerciendo su derecho en el contrato de la opción que comprando el activo en el mercado de la acción.

Supongamos que el precio de la acción al vencimiento es 110€:

$$\text{Beneficio (Profit)}_{Long\ call} = 100 * (110€ - 100€) - 500€ = 500€$$

El portador de la opción obtendrá un beneficio neto de 500€ como resultado de los 1000€ que ha ganado con la liquidación del contrato menos la inversión que tuvo que realizar para adquirir el producto financiero.

Por lo tanto la respuesta al caso 3 es que el portador de la opción ejerce su derecho y hace efectiva la compra del subyacente¹².

Finalmente analicemos el caso 2. En este caso el precio del subyacente es exactamente el precio de ejercicio de la opción. Pese a que es un caso límite en la práctica nunca se ejerce la opción en este escenario ya que liquidar el contrato conlleva un coste de transacción que acabaría perjudicando al comprador.

Para aclarar el funcionamiento de esta opción podemos ver en la siguiente imagen el payoff de la opción en todos los casos. A la izquierda vemos que estamos en el caso 1 y ya que no se ejerce la opción el portador pierde la inversión de la prima. En el centro estamos en el caso 2 donde estamos en el caso límite. A la derecha estamos en el caso 3 donde se ejerce la opción y el portador gana la diferencia entre el precio de ejercicio y el precio en el que cotiza la acción al vencimiento.

¹² Aunque en estos ejemplos asumimos que el portador de la opción compra el subyacente si finalmente decide ejercer su opción esto no suele ser así en el mercado. Por lo general la liquidación de los contratos es en efectivo. Es decir que se le paga al dueño de la opción el payoff de la opción.

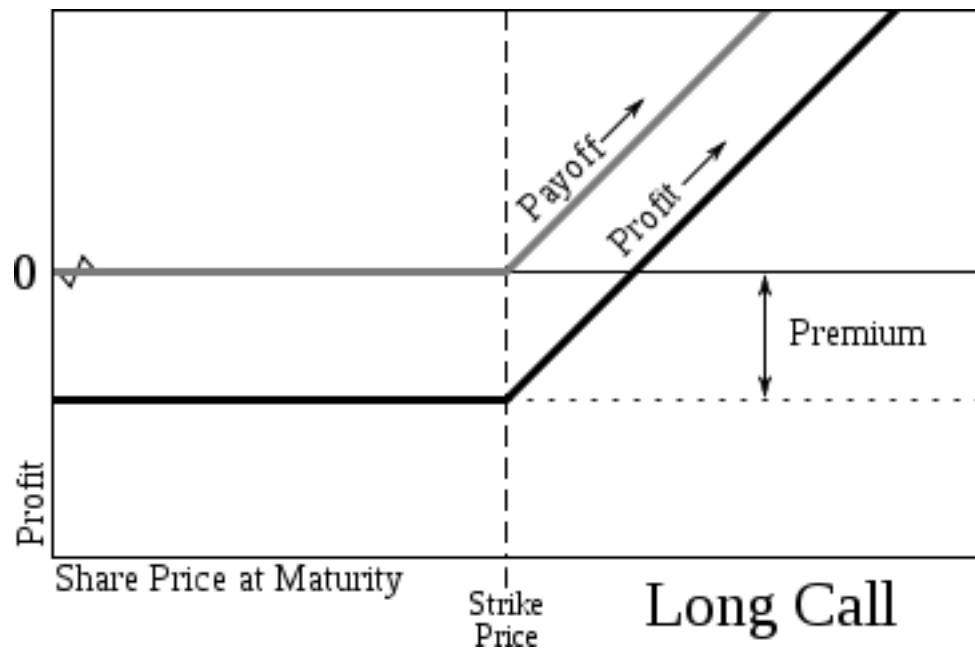


Ilustración 8 - Opción: Long Call

Llegados a este punto vamos a introducir cierta terminología. Lo que hemos llamado casos uno, dos y tres tiene nombre técnico en el mundo financiero:

- Caso 1: Out of the money (OTM).
- Caso 2: At the money (ATM).
- Caso 3: In the money (ITM).

En adelante emplearemos esta terminología.

2.2.1.2 Long Put

En la opción Long Put (Comprar el derecho para vender la opción) el portador de la opción compra el derecho de vender el subyacente a un precio, plazo y cantidad determinado.

Para el mejor entendimiento de la opción lo ilustraremos con un ejemplo:

Un inversor compra un contrato de opción financiera para vender unas acciones a un precio determinado en un plazo determinado. Es decir que el comprador toma una posición larga en una opción Put. En ese momento las acciones cotizan a 65€ cada una.

Las condiciones del contrato son:

- Precio de ejercicio 70€

- Prima por acción: 7€
- Cantidad de acciones por contrato: 100 uds.
- Plazo al vencimiento: 5 meses
- Tipo de opción: Long Put europea

Por lo tanto el inversor tendrá que hacer una inversión inicial de 700€ para adquirir el contrato de opción financiera.

Al llegar el vencimiento del contrato tendremos los siguientes escenarios (ignorando que la opción está “in the money”):

- Caso 1: El precio del subyacente es menor que el precio de ejercicio.
- Caso 2: El precio del subyacente es mayor que el precio de ejercicio.

Como se trata de una opción Put lo que genera beneficio al cliente es que el precio del subyacente esté por debajo del precio de ejercicio ya que así venderá sus activos a un precio superior y generará beneficios.

Por ejemplo:

El activo subyacente cotiza a 60€ por acción por lo tanto la opción se encuentra “In the money”. Veamos el payoff y el beneficio:

$$payoff_{Long\ Put} = 100 * (70€ - 60€) = 1000€$$

$$beneficio_{Long\ Put} = 1000€ - 700€ = 300€$$

Por lo contrario si el precio del subyacente es mayor al precio de ejercicio la opción estará “Out of the money” y el portador de la opción no ejercerá su derecho ya que le pagarían más en el mercado del activo subyacente que vendiendo al precio de ejercicio.

De la misma manera que en el ejemplo anterior podemos ver la evolución del payoff de este tipo de opción en el siguiente gráfico:

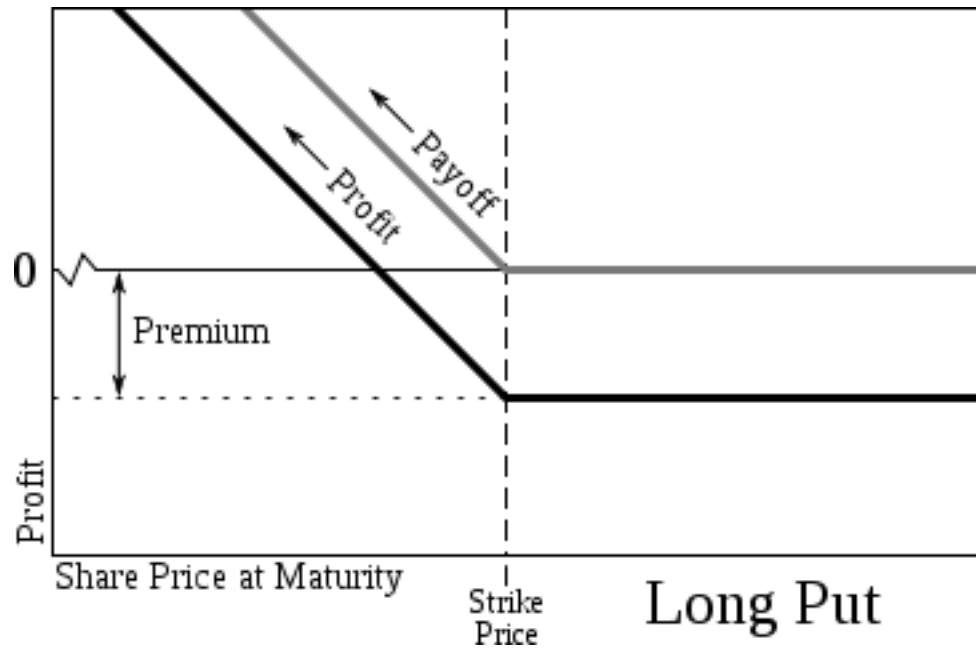


Ilustración 9 - Opción: Long Put

2.2.1.3 Short Call

Ahora que hemos visto los dos tipos de opciones (Call y Put) en posiciones largas veamos lo que ocurre si se toma una posición corta. Como hemos explicado previamente tomar una posición corta quiere decir vender el contrato de la opción. Por lo tanto el que toma una posición corta en la opción será el que reciba la prima.

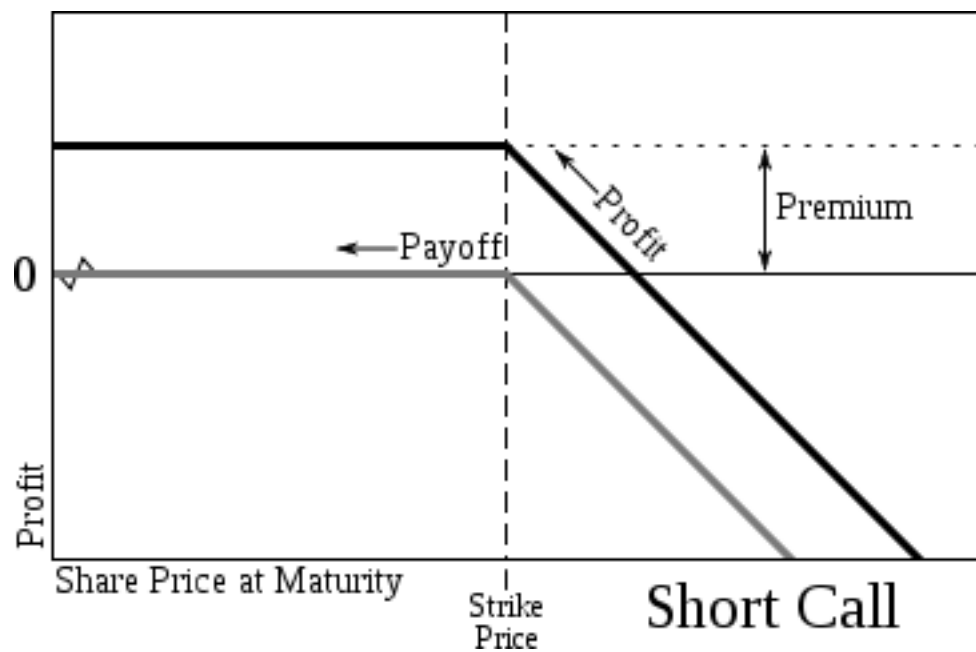


Ilustración 10 - Opción: Short Call

El payoff de esta estrategia será el contrario al de la posición Long Call. Dependiendo del precio del subyacente en la fecha de vencimiento del contrato el beneficio del portador de la posición Short Call será:

- Opción in the money (cuando el precio del subyacente es mayor al precio de strike): El comprador del contrato ejercerá la opción y se perderá la diferencia entre el precio del subyacente y el precio strike. Sin embargo, debemos tener en cuenta que el que tomó la posición corta ya ha recibido la prima en el momento en el que tomó el contrato.
- Opción out of the money (cuando el precio del subyacente es mejor al precio de strike): No se ejercerá la opción. El portador de la opción Short Call solo recibirá la prima en el momento de la venta del contrato.

2.2.1.4 Short Put

La última posición es la “Short Put”. Como se trata de una posición corta la persona que vende el contrato se encuentra en la obligación de asumir las pérdidas en el caso en que el comprador del contrato de opción decida ejercer la opción, es decir, que la opción se encuentre in the money. Como en toda posición corta el vendedor del contrato recibirá la prima a cambio.

Para aclarar el funcionamiento de la opción vamos a ilustrarlo con la posición contraria del ejemplo “Long Put”:

Un inversor vende un contrato de opción financiera que otorga el derecho de vender unas acciones a un precio determinado en un plazo determinado. Es decir que el comprador toma una posición corta en una opción Put. En ese momento las acciones cotizan a 65€ cada una.

Las condiciones del contrato son:

- Precio de ejercicio 70€
- Prima por acción: 7€
- Cantidad de acciones por contrato: 100 uds.
- Plazo al vencimiento: 5 meses
- Tipo de opción: Long Put europea

Por lo tanto el inversor recibirá 700€ por la venta del contrato “Short Put”.

Al llegar al vencimiento del contrato tendremos los siguientes escenarios (ignorando que la opción está “in the money”):

- Caso 1: El precio del subyacente es menor que el precio de ejercicio.
- Caso 2: El precio del subyacente es mayor que el precio de ejercicio.

Como se trata de una opción Put lo que generará pérdidas al vendedor es que el precio del subyacente esté por debajo del precio de ejercicio ya que así se verá obligado a comprar unas acciones a un precio superior al de mercado.

Por ejemplo:

El activo subyacente cotiza a 60€ por acción por lo tanto la opción se encuentra “In the money”. Veamos el payoff y el beneficio:

$$payoff_{Long\ Put} = 100 * (60€ - 70€) = -1000€$$

$$beneficio_{Long\ Put} = 700€ - 1000€ = -300€$$

Por lo contrario si el precio del subyacente es mayor al precio de ejercicio la opción estará “Out of the money” y el comprador no ejercerá la opción. Por lo tanto el vendedor de la opción “Short Put” tendrá de beneficio la prima y el comprador (Que toma la posición “Long Put”) perderá la prima.

A continuación se muestra gráficamente el payoff de la opción y el beneficio (cuando incluimos la prima) para todos los valores del activo subyacente:

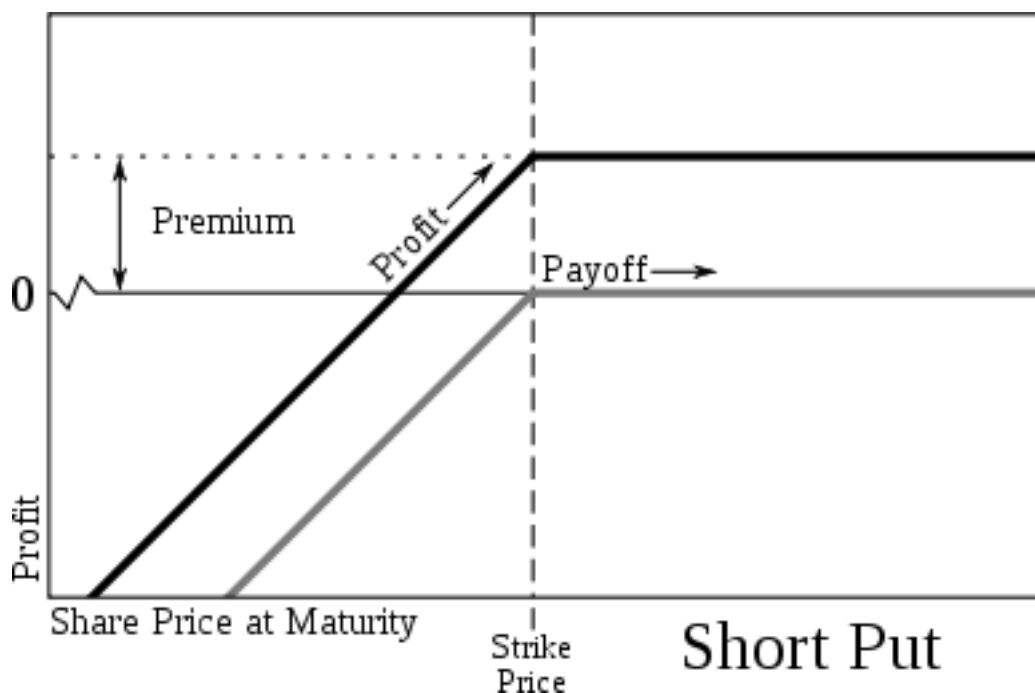


Ilustración 11 - Opción: Short Put

2.2.2 Valoración de una opción: Factores que intervienen y cómo intervienen.

En todos los ejemplos de las principales posiciones de las opciones financieras hablamos del pago y cobro de las primas. De manera intuitiva sabemos que el precio de la prima mayor cuando la opción esté más *in the money*, sin embargo, ¿De qué depende este precio?


Para calcular el valor de la prima hace falta conocer seis factores:

- Tipo de interés libre de riesgo
- Precio del activo subyacente
- Pago de dividendos del subyacente
- Volatilidad del subyacente
- Precio de ejercicio
- Vencimiento

A continuación se detalla cada uno de estos puntos:


2.2.2.1 Tipo de interés

El tipo de interés se refiere a la tasa libre de riesgo del mercado. Como es lógico la tasa de interés cambia con respecto al plazo (el tipo de interés). La distribución del tipo de interés con respecto al plazo se llama “Estructura temporal de tipos de interés – ETTI” o “Curva cupón cero”. Esta curva se construye a partir de la información diaria de deuda pública en circulación que proporciona diariamente el Banco de España. El documento por el cuál se difunde se llama “Boletín del mercado de deuda pública”. A continuación vemos un ejemplo de este boletín:



BANCO DE ESPAÑA

Boletín del Mercado de Deuda Pública



Año 21

Número 5214

19 de marzo de 2009

Importes en millones de euros y precios en tanto por ciento

I. OPERACIONES DE COMPRAVENTA SIMPLE AL CONTADO

1. DEUDA DEL ESTADO

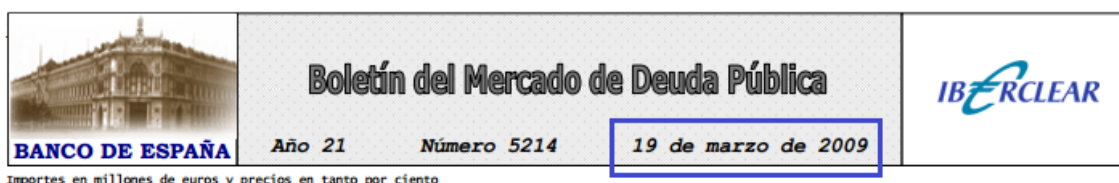
E M I S I O N	NUMERO OPERACS	IMPORTE CONTRATADO	PRECIO (EX-CUPON)			RENTD. INTERNO MEDIO	ANTERIOR PRECIO MEDIO (FECHA)
			MEDIO	MAXIMO	MINIMO		
ES00000120E9 B EST 3.25 30.07.10	4	25,00	102,658	102,683	102,630	1,25	102,614 (18/03/2009)
ES0000012791 O EST 5.00 30.07.12	2	10,18	107,451	107,500	107,450	2,64	107,350 (18/03/2009)
ES00000120L4 B EST 3.90 31.10.12	1	9,50	103,979	103,979	103,979	2,72	104,186 (17/03/2009)
ES00000121H0 B EST 4.25 31.01.14	1	25,00	104,520	104,520	104,520	3,23	104,161 (18/03/2009)
ES0000012098 O EST 4.75 30.07.14	1	15,00	106,850	106,850	106,850	3,33	106,400 (18/03/2009)
ES0000012916 O EST 4.40 31.01.15	2	15,00	105,108	105,200	104,962	3,42	104,387 (18/03/2009)
ES00000120J8 O EST 3.80 31.01.17	5	50,00	100,036	100,150	99,921	3,79	99,828 (17/03/2009)
ES0000012783 O EST 5.50 30.07.17	1	10,00	112,103	112,103	112,103	3,78	111,976 (17/03/2009)
ES00000121L2 O EST 4.60 30.07.19	8	75,50	104,379	104,695	104,226	4,08	103,307 (18/03/2009)
ES00000121G2 O EST 4.80 31.01.24	1	2,00	104,452	104,452	104,452	4,39	102,912 (18/03/2009)
ES0000011868 O EST 6.00 31.01.29	2	5,00	117,790	117,830	117,750	4,61	116,050 (18/03/2009)
ES0000012411 O EST 5.75 30.07.32	1	3,00	116,180	116,180	116,180	4,60	113,806 (18/03/2009)
ES00000120N0 O EST 4.90 30.07.40	3	13,00	105,265	105,350	105,130	4,58	102,644 (18/03/2009)
ES0000011884 C EST CUP-0 31.01.14	2	0,30	85,125	85,200	85,050	3,37	85,934 (19/02/2009)
ES0L00904174 L EST CUP-0 17.04.09	3	120,00	99,938	99,938	99,938	0,80	99,936 (17/03/2009)
ES0L00905221 L EST CUP-0 22.05.09	1	12,60	99,865	99,865	99,865	0,81	99,843 (18/03/2009)
ES0L00906195 L EST CUP-0 19.06.09	1	0,16	99,791	99,791	99,791	0,83	99,769 (18/03/2009)
ES0L01001228 L EST CUP-0 22.01.10	1	6,96	99,149	99,149	99,149	1,00	98,686 (04/03/2009)
T O T A L E S	40	398,20					

Ilustración 12 - Boletín deuda pública - Banco de España

La información que necesitamos del boletín es un listado de tasas de rendimiento con sus respectivos plazos.

Los plazos se calcularán como diferencia del vencimiento del producto de renta fija y la fecha del boletín.

En la siguiente imagen vemos delimitados los campos útiles del boletín para el cálculo de la ETTI:



I. OPERACIONES DE COMPRAVENTA SIMPLE AL CONTADO										
1. DEUDA DEL ESTADO										
E M I S I O N				NUMERO OPERACS	IMPORTE CONTRATADO	PRECIO (EX-CUPON)			RENTD. INTERNO MEDIO	ANTERIOR PRECIO MEDIO (FECHA)
						MEDIO	MAXIMO	MINIMO		
ES00000120E9 B EST 3.25	30.07.10			4	25,00	102,658	102,683	102,630	1,25	102,614 (18/03/2009)
ES0000012791 O EST 5.00	30.07.12			2	10,18	107,451	107,500	107,450	2,64	107,350 (18/03/2009)
ES00000120L4 B EST 3.90	31.10.12			1	9,50	103,979	103,979	103,979	2,72	104,186 (17/03/2009)
ES00000121H0 B EST 4.25	31.01.14			1	25,00	104,520	104,520	104,520	3,23	104,161 (18/03/2009)

Ilustración 13 - Datos importantes para la ETTI

Una vez obtenidos todos los plazos con sus correspondientes vencimientos se construye la curva haciendo un ajuste de estos puntos. Se pueden utilizar diversos algoritmos como:

- Interpolación lineal.
- Bootstrap
- Nelson-Siegel
- Nelson-Siegel-Svensson

Una vez hecho el ajuste de los puntos obtendremos una función que devolverá un tipo de interés para cada intervalo de tiempo.

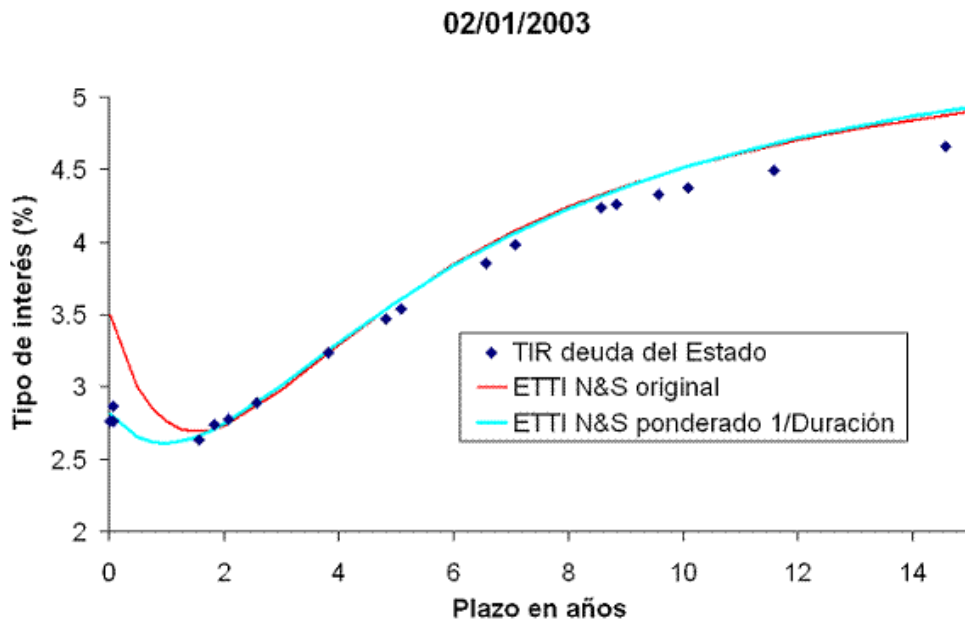


Ilustración 14 - Ejemplo de ajuste ETTI

Como podemos ver en el gráfico cada algoritmo nos dará una curva en función del plazo y el tipo de interés. Podemos ver ejemplos de las funciones que se obtienen mediante diversos ajustes a continuación:

$$y(m) = \beta_0 + \beta_1 \frac{[1 - \exp(-m/\tau)]}{m/\tau} + \beta_2 \left(\frac{[1 - \exp(-m/\tau)]}{m/\tau} - \exp(-m/\tau) \right)$$

Ilustración 15 - Función de ajuste por el método Nelson - Siegel

$$y(m) = a_0 + a_1 m + a_2 m^2$$

Ilustración 16 - Ajuste cuadrático

Ahora que ya sabemos cómo obtenemos el tipo de interés para cada plazo de tiempo veamos cómo afecta en el precio de la prima de una opción.

Una tasa libre de riesgo alta implica que el beneficio por la compra del activo subyacente subirá y por lo tanto subirá el precio de la prima de la opción "Call". Ya que ésta nos proporciona el derecho de comprar el activo subyacente en la fecha de vencimiento. Por el otro lado si la opción es de tipo "Put" el precio de la prima bajará.

Sin embargo el impacto del tipo de interés libre de riesgo es muy reducido en comparación con los demás factores de valoración.

2.2.2.2 *Precio del subyacente*

El beneficio que obtenemos al ejercer una opción (de tipo Call) es la diferencia entre el precio de ejercicio y el precio del subyacente en la fecha de vencimiento. Por lo tanto cuanto mayor sea el precio del activo subyacente el precio de la prima de la opción será mayor ya que tenemos la posibilidad de obtener un ingreso superior.

Por el otro lado cuando la opción es de tipo “Put” el precio del subyacente bajará el precio de la prima ya que se trata de una opción de venta.

2.2.2.3 *Pago de dividendos*

Cuando una institución realiza un pago de dividendos a los accionistas los acreedores de las acciones reciben una prima por cada uno de los títulos que posean. Esto afecta negativamente al precio de la opción (opción de tipo Call) ya que el precio del activo subyacente baja como consecuencia del pago de dividendos. Por lo tanto existe pago de dividendos el precio de la prima bajará.

Por el contrario si se trata de una opción “Put” la prima subirá.

2.2.2.4 *Volatilidad*

La volatilidad mide la intensidad de los cambios de un precio. Dichos cambios pueden ocurrir a la alza o a la baja. Por lo tanto una mayor incertidumbre en el valor del precio del subyacente en el vencimiento de la opción incrementará la prima tanto si es de tipo “Call” como si es de tipo “Put”.

La volatilidad del activo subyacente se puede obtener mediante diversos métodos como:

- Desviación estándar de los retornos
- Volatilidad histórica: Método que utiliza previsiones estadísticas basadas en históricos del activo. Además realiza pruebas de confianza para la validación del método.
- Volatilidad implícita: Mediante el método “*volatility smile*” se obtiene la volatilidad implícita de una opción en particular (y un método de valoración particular) dado un vencimiento y un precio de ejercicio.
- Modelos estocásticos: Utilizan modelos con parte determinista y parte aleatoria

Los retornos de pueden obtener de manera discreta (aritmética) o continua (logarítmica):

$$r_t = (P_t + D_t - P_{t-1}) / P_{t-1}$$

$$R_t = \ln(P_t + D_t / P_{t-1})$$

Ilustración 17 - Retornos aritméticos y logarítmicos

La volatilidad puede obtenerse mediante varios métodos. El más sencillo es el de la desviación estándar de los retornos del activo subyacente.

2.2.2.5 Precio de Strike

El precio de Strike es el precio al que el acreedor del contrato de la opción puede comprar/vender (depende de si es Call o Put) el activo subyacente en la fecha de vencimiento.

El beneficio que el dueño de la opción obtiene es la diferencia entre el precio de Strike y el Subyacente. Por lo tanto un precio de strike muy alto con respecto al precio de la opción implica menor beneficio.

Por lo tanto para una opción de tipo “Call” un precio de Strike alto tendrá una prima más baja que otra del mismo subyacente con un precio de Strike más bajo.

Por el contrario si la opción es de tipo “Put” un precio de Strike alto implica mayor beneficio al momento del vencimiento y por lo tanto una prima más alta.

2.2.2.6 Plazo

El plazo de un contrato de opción es el intervalo de tiempo desde el cual el acreedor de la opción puede ejercer su derecho. Debemos diferenciar en factor si las opciones son americanas o europeas ya que en las europeas el vencimiento es una fecha cerrada y en las americanas la opción se puede ejercer en cualquier momento hasta el vencimiento.

Por lo tanto es evidente que el precio de la prima de una opción americana (tanto Call como Put) será mayor que el precio de una opción europea ya que tiene la posibilidad de ejercerla en cualquier momento.

Finalmente podemos ver un resumen de cómo afecta cada factor (manteniendo al resto de factores constantes) en cada tipo de opción en la siguiente tabla:

Table 9.1 Summary of the effect on the price of a stock option of increasing one variable while keeping all others fixed.*

<i>Variable</i>	<i>European call</i>	<i>European put</i>	<i>American call</i>	<i>American put</i>
Current stock price	+	–	+	–
Strike price	–	+	–	+
Time to expiration	?	?	+	+
Volatility	+	+	+	+
Risk-free rate	+	–	+	–
Amount of future dividends	–	+	–	+

* + indicates that an increase in the variable causes the option price to increase;
 – indicates that an increase in the variable causes the option price to decrease;
 ? indicates that the relationship is uncertain.

Ilustración 18 - Factores que afectan a la valoración de opciones¹³

¹³ Imagen del Libro "Options, Futures and other Derivatives" de John Hull

Capítulo 3: Métodos de valoración de Opciones

Ahora que ya sabemos cuáles son todos los factores que determinan el precio de la prima del contrato de una opción financiera introduciremos toda esta información en un algoritmo de valoración para obtener el valor de la prima.

Existen muchos algoritmos de valoración. En este capítulo explicaremos los dos más utilizados así como los criterios y asunciones que se tienen en cuenta para la aplicación de dichos algoritmos.

3.1 En método del árbol binomial

El algoritmo de valoración binomial consiste en la construcción de un árbol que contempla las alternativas de variación del precio del subyacente (al alza o baja). Por lo tanto es un método discreto. En cada paso del árbol cada rama nos proporcionará dos nuevas posibilidades de evolución del precio. Por lo tanto cuantos más pasos intermedios tenga el árbol binomial de valoración mayor será la precisión del algoritmo ya que habrá tenido en cuenta más posibilidades.

Las asunciones que hace este algoritmo son:

- No hay posibilidad de arbitraje.
- La propensión al riesgo es neutral.
- El beneficio de la opción se puede replicar mediante una cartera de un determinado tamaño conformada por el activo subyacente y bonos al tipo de interés libre de riesgo.

Vamos a ver la evolución en un paso asumiendo que la posibilidad de que el precio suba es “u” y la probabilidad de que el precio baje es “d”.

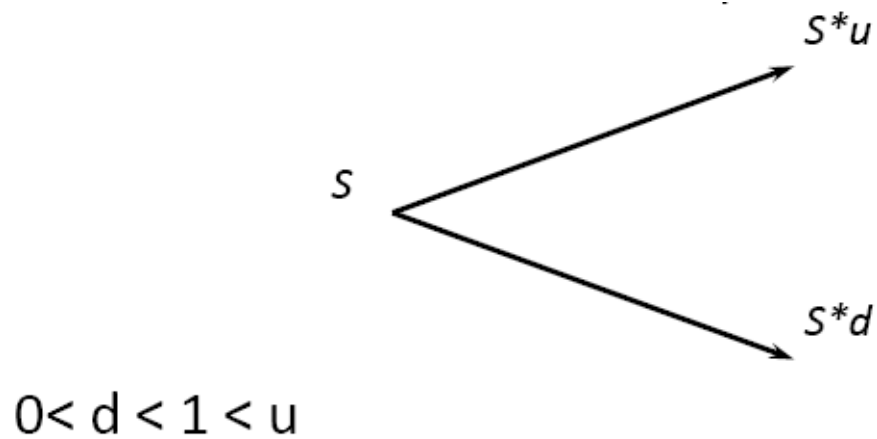


Ilustración 19 - Árbol binomial de un paso

¿Cuál sería el precio de la opción “Call” si tomáramos la aproximación en un árbol de un solo paso?

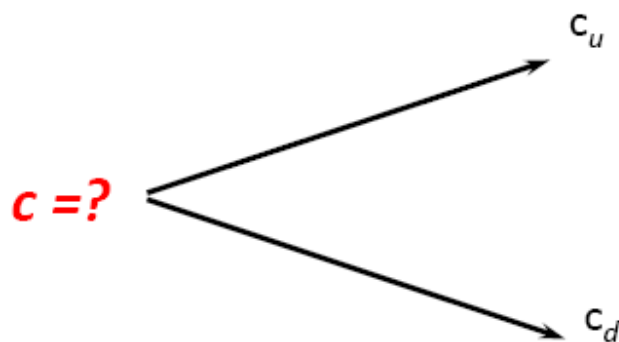


Ilustración 20 - Obtención de precio de opción Call mediante árbol binomial de un paso

Consideramos que tenemos una cartera con “delta” acciones y una opción Short Call. El valor de la cartera sería:

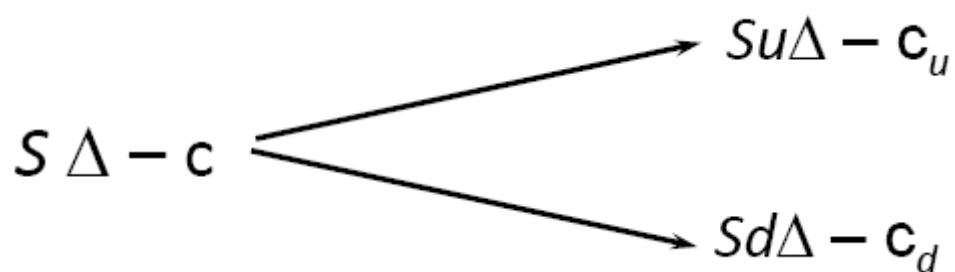


Ilustración 21 - Árbol binomial: Valoración con una cartera de riesgo neutral

Además aplicamos la condición de riesgo indiferente. Por lo tanto:

$$Su\Delta - Cu = Sd\Delta - Cd$$

Despejando el tamaño “delta” de la cartera:

$$\Delta = \frac{Cu - Cd}{Su - Sd}$$

El valor de la cartera será:

$$Su\Delta - cu$$

Sin embargo, este valor es verdad en un tiempo “T” en el que la opción llega a su fecha de vencimiento. Para poder aplicar esta aproximación necesitaremos actualizar este valor a la fecha de compra de la opción. Se utiliza la fórmula de descuento continua:

$$\text{Valor de la cartera hoy} = (su\Delta - Cu) \cdot e^{-r \cdot T}$$

Como el riesgo es indiferente el valor de la cartera a día de hoy será igual su valor menos el valor de la opción Call. Despejando esta ecuación obtenemos el precio “Call”:

$$(su\Delta - Cu) \cdot e^{-r \cdot T} = S\Delta - call$$

$$call = S\Delta - (Su\Delta - Cu) \cdot e^{-r \cdot T}$$

Sustituyendo el valor de “delta” en la expresión encontrada obtenemos la siguiente expresión para la valoración:

$$c = [p \cdot Cu + (1 - p) \cdot Cd] \cdot e^{-r \cdot T}$$

$$p = \frac{e^{r \cdot T} - d}{u - d}$$

Donde p y (1-p) se interpretan como las probabilidades con riesgo neutral de que el precio de la opción suba o baje.

Podemos entender a p como el payoff esperado en un mercado libre de riesgo con un factor de descuento al tipo de interés libre de riesgo.

Para la comprensión del algoritmo vamos a hacer un árbol de un solo paso:

- Precio del subyacente: 20
- Plazo hasta el vencimiento: 3 meses (0.25 años)
- Precio de strike: 21
- Sabemos que en tres meses el precio del subyacente puede valer 22 o 18

Por lo tanto sabemos que si la opción vale 22 el beneficio sería 1 y si vale 18 no habría beneficio ya que la opción estaría “Out of the money”.

El árbol de posibilidades sería el siguiente:

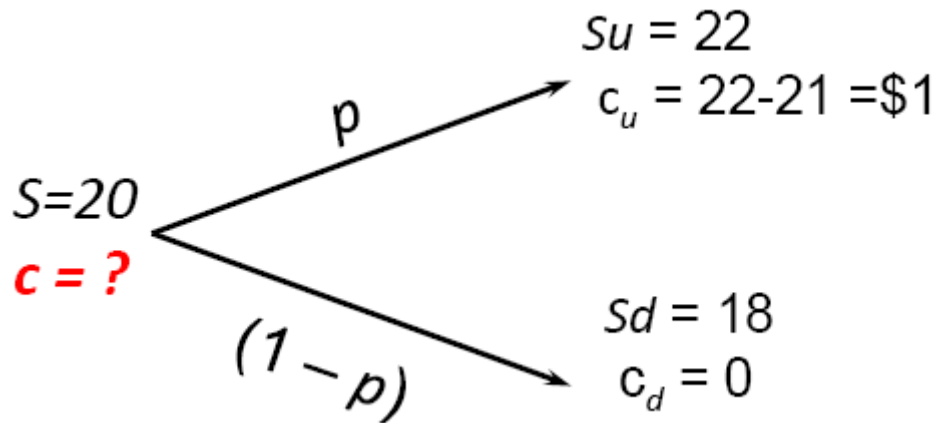


Ilustración 22 - Árbol binomial: ejemplo de un paso con valores

Calculamos el valor de p :

$$p = \frac{e^{rT} - d}{u - d} = \frac{e^{0.12 \cdot \frac{3}{12}} - 0.9}{1.1 - 0.9} = 0.6523$$

$$1 - p = 0.3477$$

Colocando los valores en el árbol:

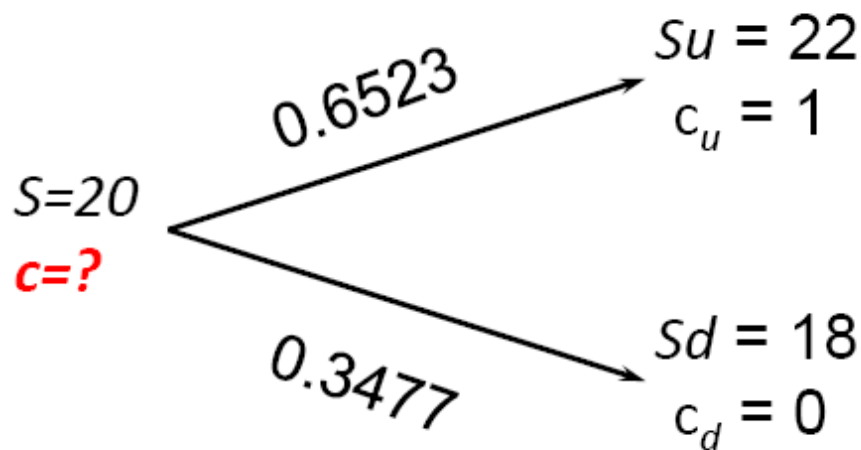


Ilustración 23 - Árbol binomial: ejemplo con valores y probabilidad p

Ahora podemos calcular el valor de la opción:

$$call = e^{-rT} \cdot [0.6523 \cdot 1 + 0.3477 \cdot 0] = 0.633\$$$

Sin embargo, el resultado con un solo paso es poco significativo. Habría que hacer al menos 20 pasos para obtener un resultado válido.

En la siguiente imagen podemos ver la evolución si tomáramos más pasos:

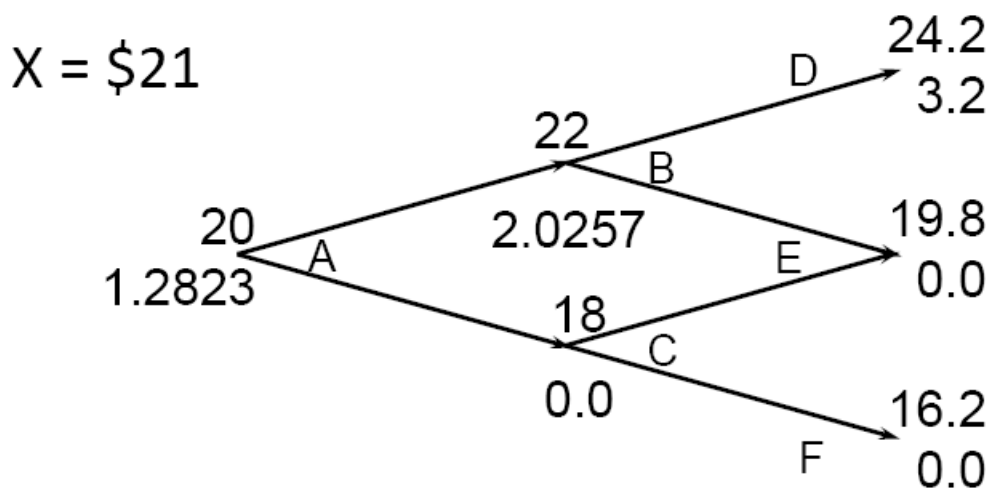


Ilustración 24 - Árbol binomial de dos pasos

Value at node B

$$= e^{-0.12 \times 0.25} (0.6523 \times 3.2 + 0.3477 \times 0) = 2.0257$$

Value at node A

$$= e^{-0.12 \times 0.25} (0.6523 \times 2.0257 + 0.3477 \times 0)$$
$$= \text{\textcolor{red}{\$1.2823}}$$

Vemos que el proceso es iterativo ya que la valoración de cada nodo se realiza de la misma manera que el ejemplo de un solo paso.

3.1.1 Generalización del modelo con n pasos

Ahora que ya hemos entendido el algoritmo lo podemos generalizar de la siguiente manera:

Tenemos una opción con plazo “T” hasta el vencimiento y “n” sub-periodos de largo T/n y “r” es el tipo de interés libre de riesgo.

El valor de “p” es:

$$p = \frac{e^{rT} - d}{u - d}$$

La tasa de descuento que se utilizará para el cálculo del precio de la opción será:

$$e^{-r \cdot T/n}$$

El precio de la opción en cada uno de los nodos es:

$$c = [p \cdot Cu + (1 - p) \cdot Cd] \cdot e^{-r \cdot T}$$

Los valores de u y d se escogerán de acuerdo a la volatilidad del activo subyacente con las siguientes fórmulas:

$$u = e^{\sigma \cdot \sqrt{T/n}}$$

$$d = e^{-\sigma \cdot \sqrt{T/n}}$$

Donde T/n es el largo de los pasos del árbol binomial y sigma es la volatilidad anualizada del activo subyacente.

Finalmente exponemos el siguiente ejemplo donde vemos la variación del precio de la opción conforme vamos aumentando el número de pasos del árbol binomial:

Supongamos que se tienen acciones de AOL y su precio Spot es 125,9375. El plazo para el vencimiento es de 35 días. La tasa libre de riesgo es del 4.56%. La volatilidad del subyacente es 0.83%

Haciendo los cálculos para la primera iteración:

$$Tasa\ de\ descuento = e^{-r*T/n} = 1.293$$

$$d = 0.7733$$

$$u = e^{0.83*(35*\frac{1}{365})^{0.5}}$$

$$Su = 162.93$$

$$Sd = 97.39$$

$$p = 0.444$$

$$c = 16.55$$

Evidentemente la primera iteración es una mala aproximación. En la siguiente tabla vemos la evolución del precio de la opción Call conforme se va incrementando el número de iteraciones:

n	u	d	r	p	c
1	1.29	0.77	0.00428	0.4443	16.55
2	1.19	0.83	0.00214	0.4605	12.33
5	1.12	0.89	0.00085	0.4750	14.20
10	1.08	0.92	0.00042	0.4823	13.35
25	1.05	0.95	0.00017	0.4888	13.68
50	1.03	0.96	0.00008	0.4921	13.53
100	1.02	0.97	0.00004	0.4944	13.56
200	1.01	0.98	0.00002	0.4960	13.56

Ilustración 25 - Evolución de valoración con el número de pasos del árbol binomial

Vemos que el precio de la opción se estabiliza aproximadamente a las 50 iteraciones.

Aunque teóricamente se busca tener el mayor número de pasos en el árbol binomial en la práctica es necesario aplicar un número razonable ya que al ser un método iterativo el coste computacional del algoritmo es muy elevado para una diferencia de performance muy baja.

3.1.1 Valoración de opciones Put

Si queremos valorar una opción del tipo “Put” en método a emplear será el mismo. La única diferencia es que el payoff que obtenemos en las ramas de los nodos será distinto ya que las condiciones para estar “in the money” o “out of the money” son distintas para una opción “Put”.

3.1.1 Valoración de opciones Americanas

Si queremos valorar una opción Americana mediante el método binomial en cada iteración deberemos comparar el beneficio de ejercer la opción al de conservarla y quedarnos con el máximo de la siguiente manera:

$$C_u = \text{Math.max}(\text{Call}(\text{tiempo}, \text{spot}, \text{strike}, E, P, U, D, (U * uAc), (D * uAc), (\text{step} + 1), n), (uAc * \text{spot}) - \text{strike});$$
$$C_d = \text{Math.max}(\text{Call}(\text{tiempo}, \text{spot}, \text{strike}, E, P, U, D, (U * dAc), (D * dAc), (\text{step} + 1), n), (dAc * \text{spot}) - \text{strike});$$

3.1.2 Valoración de opciones con dividendos

Como hemos visto en capítulos anteriores cuando existe un reparto de dividendos dentro del plazo de la opción en el activo subyacente el precio de la opción de tipo “Call” baja y la opción de tipo “Put” sube.

Para aplicar el algoritmo binomial en el cálculo del precio de estas opciones tendremos que restar el valor del dividendo en el precio Spot en la iteración correspondiente a la fecha del pago del dividendo.

3.1.3 Delta

Ahora que hemos obtenido de manera generalizada un modelo de valoración con un árbol binomial, recordamos que en el primer ejemplo basamos la valoración en una cartera de tamaño “delta”.

¿Qué quiere decir delta? Aplicando las fórmulas generalizadas podemos obtener su valor:

$$\Delta = \frac{Cu - Cd}{Su - Sd}$$

Delta es el ratio de cambio del precio de la opción con respecto a su activo subyacente. Por lo tanto es la medida de la sensibilidad del precio de la opción con respecto a los cambios de su subyacente.

Además, Delta es la principal medida de riesgo en las opciones financieras.

3.2 Black-Scholes

¿Qué sucede cuando aumentamos hasta el infinito el número de pasos del árbol binomial?

Lo que sucede es que el modelo binomial converge a la fórmula de Black-Scholes:

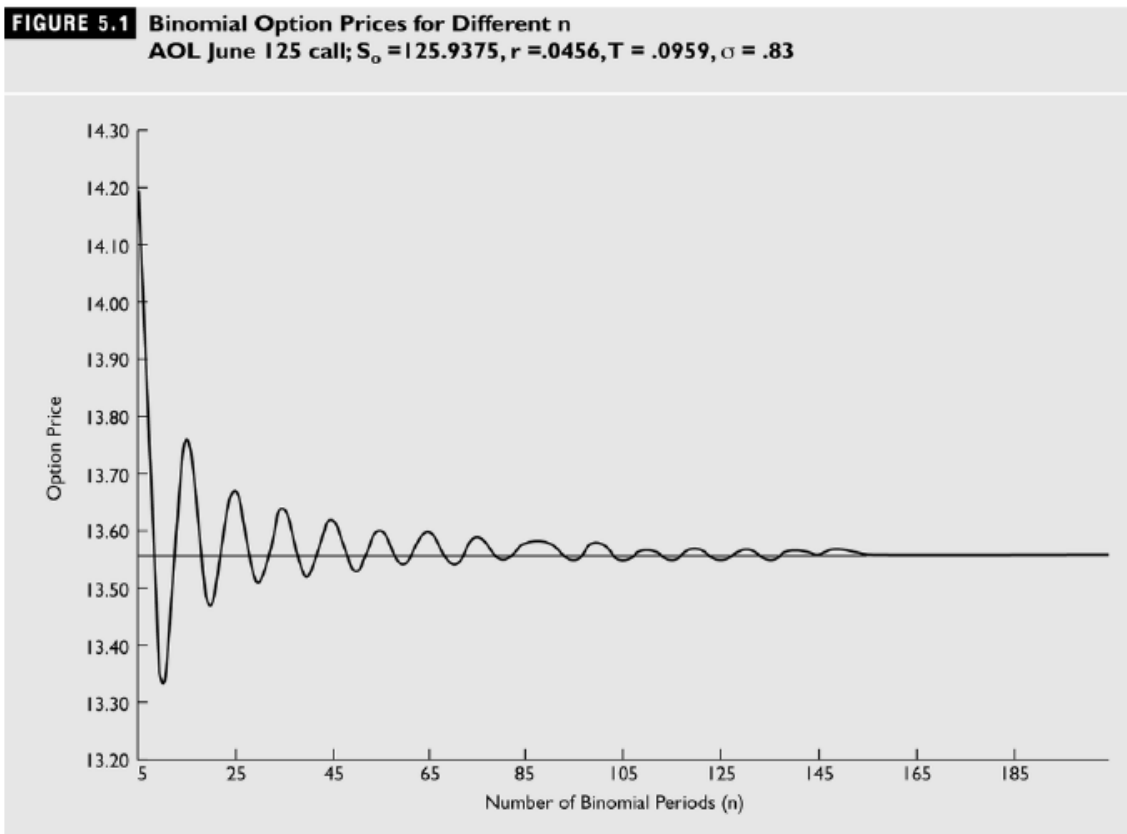


Ilustración 26 - Convergencia del método binomial a Black-Scholes

A diferencia del algoritmo del árbol binomial, que es un método discreto, el método de Black-Scholes es un método continuo. Las asunciones que este método de valoración hace son las siguientes:

- No existen impuestos ni costes de transacción
- Se puede vender en corto el activo subyacente libremente
- Las acciones del activo subyacente son divisibles infinitamente
- El tipo de interés al cual se compran y se venden activos es constante e igual a la tasa de interés libre de riesgo
- No hay dividendos
- El método es válido para opciones europeas. Utilizarlo para opciones Americanas es una mala aproximación
- El trading de los activos es continuo
- La volatilidad y la tasa libre de riesgo son constantes
- El precio del activo subyacente se distribuye como una normal

El desarrollo de la fórmula de valoración de este método es muy compleja y le otorgó a sus autores un premio nobel por su aportación a la valoración de este activo financiero.

Sin embargo, esta aportación no ha sido valorada positivamente por todo el entorno financiero. Existen comentarios como:

“Unas mesas más abajo está un doctor en matemáticas de Cambridge. Pasa gran parte del día estudiando la rápida evolución de la "superficie de volatilidad" de las opciones de mercado, un gráfico 3-D imaginario de cómo las fluctuaciones de precios se ensanchan y estrechan según los términos de cada contrato de opciones varían. Por la fórmula Black-Scholes, no hay ningún tipo de interés en este tipo de superficie, sino que debe ser plana como un panqueque. De hecho se trata de una forma salvaje y compleja. El seguimiento y predicción de sus próximos cambios son aspectos fundamentales en los que los operadores de opciones de Citigroup hacen dinero”¹⁴.

Aunque no se explicará la deducción de esta fórmula los pasos para obtenerla son:

- Especificar una distribución log-normal para un activo subyacente
- Construir una cartera libre de riesgo conformada por “delta” acciones del activo subyacente y una opción short Call o una posición larga del activo subyacente con $1/\text{delta}$ opciones call
- Ver el cambio del valor de “delta” conservando la neutralidad ante el riesgo de la cartera
- Lograr la neutralidad comprando y vendiendo el activo subyacente

El Resultado es la fórmula de Black-Scholes:

¹⁴ Benoit Mandelbrot y Richard L. Hudson. The Misbehavior of Markets: A Fractal View of Financial Turbulence.

$$c = S_0 N(d_1) - X e^{-rT} N(d_2)$$

$$p = X e^{-rT} N(-d_2) - S_0 N(-d_1)$$

$$\text{where } d_1 = \frac{\ln(S_0 / X) + (r + \sigma^2 / 2)T}{\sigma \sqrt{T}}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma \sqrt{T}$$

Ilustración 27 - Fórmula de Black-Scholes

Dónde:

C = Precio de la opción Call

P = Precio de la opción Put

X = Precio de Strike

Sigma = Volatilidad

So = Precio del subyacente

T = Plazo hasta el vencimiento

N(x) = Es la distribución normal acumulada

Pese a las asunciones que hace y que su aproximación no es tan exacta que métodos discretos como el del árbol binomial el método de Black-Scholes es el más utilizado por su simplicidad y su bajo coste computacional.

3.1.1 Aproximación para dividendos

Aunque no es una aproximación del todo correcta se puede valorar opciones con dividendos.

La fórmula a emplear es la misma con la diferencia de que al precio Spot se le debe restar el valor del dividendo descontado al plazo de la fecha de su pago con la tasa libre de riesgo. El método de descuento a emplear será el de descuento continuo.

$$\text{dividendo hoy} = \text{dividendo fecha de pago} \cdot e^{-r \cdot T}$$

Capítulo 4: Desarrollo de algoritmos de Valoración y codificación

Ahora que ya entendemos los algoritmos procedemos a explicar algunos de los códigos que han sido implementados en la aplicación de este proyecto.

4.1 Código Binomial

Como hemos visto el algoritmo del árbol binomial es un método iterativo. Por lo tanto se ha implementado un algoritmo recursivo (un algoritmo que se llama a sí mismo) en el que se van recalculando los nodos del árbol hasta llegar al número de iteraciones seleccionada por el usuario. El algoritmo es básicamente el mismo salvo por las diferencias de si la opción es “Call” o “Put” o si tiene o no “dividendos”.

4.1.1 Opción Americana Call con dividendos

Como vemos el árbol binomial avanza sus iteraciones reemplazando el valor del posible payoff en cada una de las ramas (rama de subida y de bajada) por el de la rama anterior hasta que se agote el número de pasos.

Ya que en este caso existe pago de dividendo el algoritmo va comparando el plazo de la iteración correspondiente con la del pago de dividendos. Cuando éste coincide se resta de manera discreta el valor del dividendo al precio Spot.

Además como se trata de una opción americana en cada nodo calcula el máximo entre retener la opción y ejercerla.

```

public double Call_div (double tiempo,double spot,double strike, double E, double P, double U,double D,double uAc,double
dAc,int step,int n,double div, double time_to_div,double paso,double tiempo_div)
{
    double precio;
    double Cu;
    double Cd;

    if (step == n) {
        double nu = spot * uAc;
        double nd = spot * dAc;
        Cu = Math.max(0, nu - strike);
        Cd = Math.max(0, nd - strike);
    } else {
        tiempo_div=tiempo_div+paso;
        if (tiempo_div < time_to_div+0.1-paso || tiempo_div > time_to_div+0.1-paso)
        {
            spot=spot-div;
            Cu = Math.max(Call(tiempo,spot,strike,E,P,U,D,(U * uAc), (D * uAc), (step + 1),n), (uAc*spot)-strike);
            Cd = Math.max(Call(tiempo,spot,strike,E,P,U,D,(U * dAc), (D * dAc), (step + 1),n), (dAc*spot)-strike);
        }
        else
        {
            Cu = Math.max(Call(tiempo,spot,strike,E,P,U,D,(U * uAc), (D * uAc), (step + 1),n), (uAc*spot)-strike);
            Cd = Math.max(Call(tiempo,spot,strike,E,P,U,D,(U * dAc), (D * dAc), (step + 1),n), (dAc*spot)-strike);
        }
    }

    return precio = E * (P * Cu + (1 - P) * Cd);
}

```

4.1.2 Opción Europea Put

Como podemos ver el árbol binomial es muy parecido al anterior con la diferencia de que no existe pago de dividendo y los posibles payoff en las ramas de subida y bajada son distintos ya que la opción es de tipo “Put”. Además como la opción es europea sólo se podrá ejercer en su fecha de vencimiento. Por lo tanto no existe el cálculo del máximo entre ejercer y no ejercer en cada iteración como en el ejemplo anterior de las opciones americanas.

```

public double Put (double tiempo,double spot,double strike, double E, double P, double U,double D,double uAc,double dAc,int
step,int n)
{
    double precio;
    double Cu;
    double Cd;

    if (step == n) {
        double nu = spot * uAc;
        double nd = spot * dAc;
        Cu = Math.max(0, -nu + strike);
        Cd = Math.max(0, -nd + strike);
    } else {
        Cu = Put(tiempo,spot,strike,E,P,U,D,(U * uAc), (D * uAc), (step + 1),n);
        Cd = Put(tiempo,spot,strike,E,P,U,D,(U * dAc), (D * dAc), (step + 1),n);
    }

    return precio = E * (P * Cu + (1 - P) * Cd);
}

```

4.2 Código Black Scholes

La implementación del algoritmo de Black-Scholes es mucho más simple que la del árbol binomial ya que se trata de una fórmula directa. Para el cálculo de la distribución acumulada se ha empleado una librería de cálculos estadísticos¹⁵.

4.2.1 Opción Europea Call

Como vemos simplemente se aplica la fórmula de Black-Scholes.

```
public double E_Call(double spot, double strike, double rate, double vol,
    double time_to_mat) {

    double d1 = (Math.log(spot / strike) + time_to_mat
        * (rate + 0.5 * Math.pow(vol, 2)))
        / (vol * Math.sqrt(time_to_mat));
    double d2 = d1 - (vol * Math.sqrt(time_to_mat));
    double nd1 = normal.cumulative(d1, 0, 1);
    double nd2 = normal.cumulative(d2, 0, 1);

    double price = spot*nd1-strike*nd2*Math.exp(-1*rate*time_to_mat);

    return price;
}
```

¹⁵ Librería commons-math de Apache: <http://commons.apache.org/proper/commons-math/>

Capítulo 5: Desarrollo de la aplicación

Con los algoritmos descritos en capítulos anteriores se ha desarrollado una aplicación para que el usuario pueda valorar opciones con cualquiera de los métodos.

5.1 Análisis de requisitos

En los siguientes puntos se detallan los requisitos de la herramienta que se ha de desarrollar:

5.1.1 Requisitos de la base de datos

Se requiere una base de datos que contenga la siguiente información:

- Precios Spot para todas las fechas de los siguientes instrumentos:
 - Acciones INDITEX
 - Acciones Banco Santander
 - Acciones BBVA
 - Índice IBEX-35
- Volatilidades obtenidas mediante el método de la desviación estándar de los siguientes activos para todas las fechas:
 - Acciones INDITEX
 - Acciones Banco Santander
 - Acciones BBVA
 - Índice IBEX-35
- Calibraciones mediante el método de Nelson-Siegel de los datos del boletín diario de deuda pública para todos los días. Se deberán especificar los siguientes parámetros:
 - Beta0
 - Beta1
 - Beta2
 - Lambda

5.1.2 Valores de Entrada

Los valores que deben ser introducidos para realizar la valoración del producto.

1. Activo Subyacente

La aplicación debe mostrar una lista con los activos subyacentes disponibles en la base de datos. Si escoge alguno de estos se deberá rellenar automáticamente el precio Spot y la volatilidad para el activo en la fecha de valoración.

2. Fecha de Valoración

Es la fecha en la cual el usuario desea valorar la Opción.

3. Precio Spot

Es el precio de mercado del activo subyacente en la Fecha de Valoración. Este campo deberá rellenarse automáticamente si se ha escogido un subyacente de la base de datos.

4. Precio de Ejercicio

Es el precio al cual el portador de la opción puede adquirir el activo subyacente una vez llegada la fecha de vencimiento (Opción Europea) o en cualquier momento previo (Opción Americana). Se debe introducir de forma manual.

5. Fecha de Vencimiento

Es la fecha en la que concluye el contrato de la Opción.

6. Volatilidad

Este campo debe aparecer de forma automática si se ha seleccionado la opción de base de datos.

7. Tipo de Interés

Es la Estructura Temporal de Tipo de Interés (ETTI) que la aplicación toma como referencia para la valoración del producto.

La aplicación deberá tener disponibles en la base de datos las calibraciones de las curvas de tipo obtenidas de los boletines de deuda pública del estado mediante el método de Nelson-Siegel.

Una vez introducidas la fecha de valoración y vencimiento el tipo de interés aparecerá automáticamente.

8. Dividendos

Se contemplan los siguientes casos:

- No existen dividendos a lo largo del ciclo de vida de la Opción.
- Existen dividendos discretos. Se introduce el valor del dividendo y su fecha correspondiente. Pueden haber varios dividendos.

9. Tipo de opción:

Se tendrá que saber si la opción a valorar es europea o americana.

10. Método de valoración:

El usuario tendrá que escoger el método mediante el cual desea valorar la opción. Se contemplará el método binomial y Black-Scholes.

5.1.3 Restricciones de los Valores de Entrada

Las restricciones para los valores de entrada las siguientes:

- El Precio Spot debe ser mayor que 0.
- El Precio de Ejercicio puede ser mayor o igual que 0.
- La Fecha de Valoración debe ser previa a la Fecha de Vencimiento.
- La Fecha de Vencimiento debe ser posterior a la Fecha de Valoración.
- La Volatilidad debe ser mayor que 0.
- En el caso de haber dividendos tanto como si son Discretos como introducidos por Porcentaje deben ser mayores que 0.

5.1.4 Requisitos de funcionalidades

Las siguientes funcionalidades deben ser implementadas:

- Precio de la Opción Call y de la Opción Put:
 - Se distingue si los valores introducidos son para valorar una opción europea o americana.
 - La Opción se puede valorar mediante los siguiente métodos:
 - Binomial
 - Black-Scholes
 - Funcionalidad para restablecer el valor de los campos

5.2 Diseño de la interfaz de la aplicación

La interfaz de usuario se divide en tres paneles:

- Panel 1- Información sobre la fecha y modelo de valoración: En este panel el usuario define la fecha de valoración, el tipo de opción que desea valorar y el método de valoración.
- Panel 2 - Parámetros de valoración: En este panel el usuario introduce los parámetros de valoración de la opción en cuestión como: precio Spot, precio de ejercicio, tipo de interés, fecha de vencimiento, etc.
- Panel 3 - Panel de resultados: En este panel se encuentran los botones para valorar la opción y restablecer los campos de la aplicación.

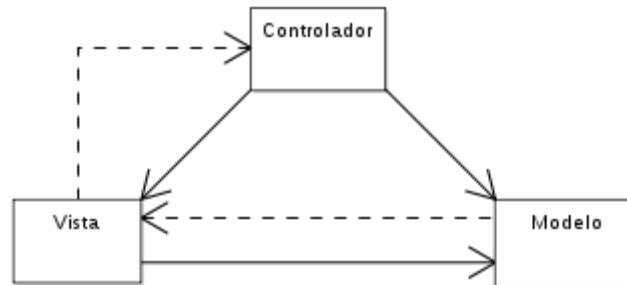
A continuación se muestra la primera maqueta de la interfaz de usuario:

La interfaz de usuario está organizada en tres paneles principales:

- Métodos y fecha de valoración:**
 - Fecha de valoración: ☐
 - Método de valoración: (lista desplegable con "Europea" visible)
 - Método de valoración: (lista desplegable con "Black-Scholes" visible)
- Parámetros de valoración:**
 - Activo Subyacente: (lista desplegable con "SAN" y "Otro" visible)
 - Precio Spot:
 - Volatilidad:
 - Tipo de interés: (lista desplegable con "BBDD" y "Manual" visible)
 - Fecha de vencimiento: ☐
 - Precio de ejercicio:
 - Dividendos: (lista desplegable con "Introducir" visible)
 - Tres filas de entrada para dividendos: cada fila con y
- Resultados:**
 - Botones: y
 - Columna "Call":
 - Columna "Put":

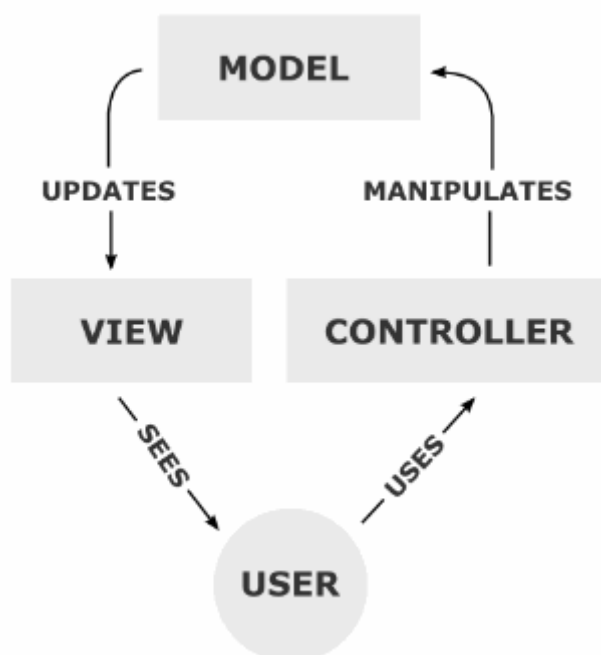
Ilustración 28: Diseño de la aplicación

5.3 Arquitectura de la aplicación



El modelo vista controlador o MVC divide a una aplicación en tres capas:

- **Modelo:** El modelo es la representación de la información con la cual el sistema opera, gestiona los accesos a la información, implementa privilegios etc.
- **Vista:** La vista está encargada de presentar al modelo (junto con su información y lógica de negocio) de manera adecuada para la interacción con el usuario. Por lo tanto el usuario observa la vista e interacciona con el controlador.
- **Controlador:** Es el encargado de responder a eventos e invocar al modelo cuando se hacen solicitudes sobre la información o procesos disponibles. Por lo tanto es el encargado de interaccionar entre la vista y el modelo.



El MVC será de tipo uno ya que existe una mezcla entre la vista y el controlador. Si la vista fuera totalmente independiente entonces sería de tipo 2.

5.4 Frameworks, tecnologías y entornos de desarrollo

Aunque todas las capas de la aplicación descritas anteriormente son independientes, el desarrollo de la aplicación se realiza en un único entorno de desarrollo. La División de las capas se realiza mediante una estructura de directorios.

Como lenguaje de programación se ha elegido Java siguiendo el estándar J2EE para el desarrollo de aplicaciones empresariales.

Para esta aplicación se ha utilizado un entorno de desarrollo “Spring Tool Suite”. Este entorno es igual al entorno “Eclipse Juno” con la diferencia de que incluye plugins que facilitan el desarrollo de aplicaciones web.

Para facilitar el desarrollo se utilizan “Frameworks”. Un Framework es un conjunto de componentes reutilizables y sustituibles que presentan un comportamiento pre-definido.

Los Frameworks utilizados son:

- JSF 2.0: Se ha utilizado para la vista y el controlador. Para su implementación se ha utilizado la biblioteca de tags “PrimeFaces”.
- Spring 3.0: Se ha utilizado como inyector de dependencias para la gestión de la configuración e integración de los diferentes módulos de la aplicación

Además se han empleado las siguientes tecnologías:

- Maven 3: Se ha utilizado Maven como gestor del ciclo de vida del proyecto. Se ha utilizado para tareas como las siguientes:
 - Compilación del código fuente
 - Validación de pruebas unitarias
 - Gestión de las dependencias externas (librerías de cálculo, etc.)
 - Empaquetamiento del producto final generado
- MySQL: Se ha utilizado MySQL como sistema gestor de bases de la base de datos.
- JPA: Se ha utilizado como especificación de acceso a base de datos de la aplicación. Como implementación se ha empleado Hibernate. Ésta es una herramienta de Mapeo objeto-relacional para la plataforma Java.
- My SQL Workbench y Toad for mySQL: Se han utilizado como herramientas de desarrollo y gestión de la base de datos.
- Apache Tomcat 7: Se ha utilizado como servidor para el despliegue de la aplicación.

5.5 Base de datos

5.5.1 Captura de datos

Se han descargado los precios de los instrumentos financieros necesarios del histórico de “Yahoo finance”¹⁶. El precio que se incluye en la base de datos es el “último precio”.

Se contemplan precios desde el 3 de enero de 2011 hasta el 30 de junio de 2013.

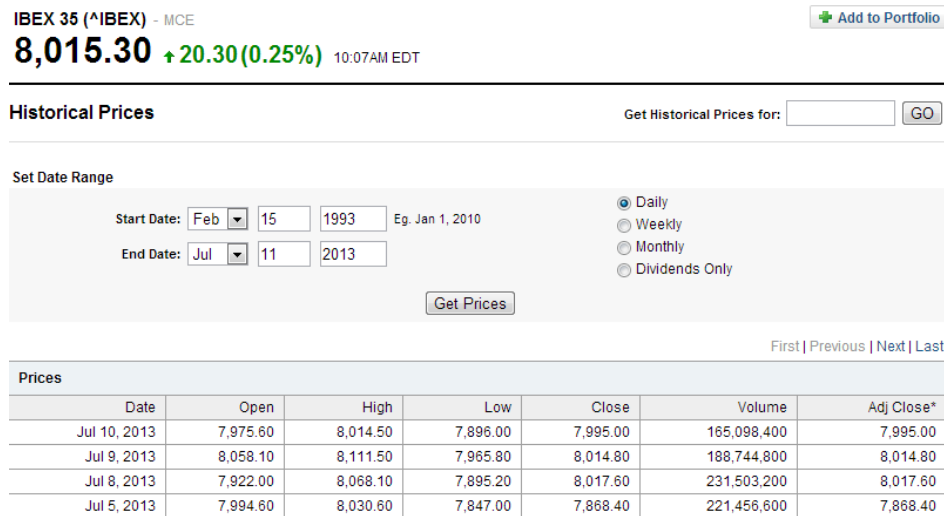
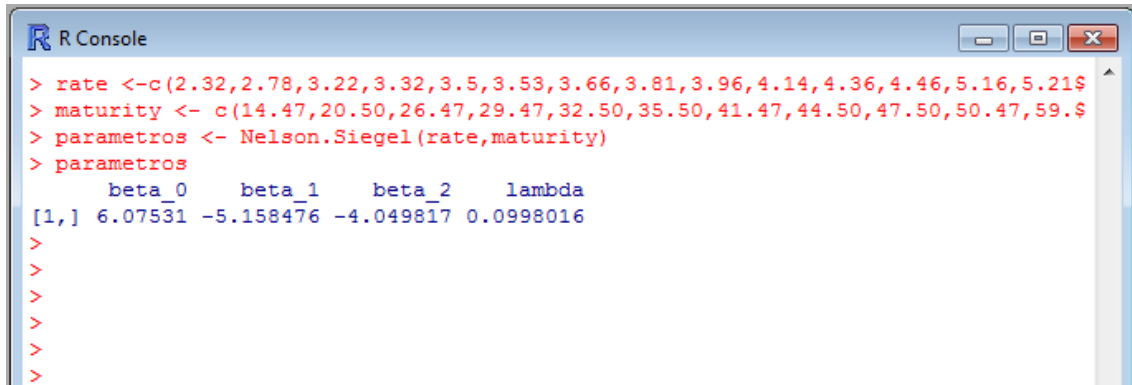


Ilustración 29 - Histórico de precios Yahoo Finance

Para la calibración de las estructuras temporales de tipos de interés se han descargado los boletines de deuda pública del banco de España. Con estos datos debidamente formateados se ha utilizado la herramienta de cálculo “RGui” para hallar los parámetros del ajuste “Nelson-Siegel” para la curva de tipos de interés.

El paquete de “R” utilizado se llama “Yield Curve” y la instrucción a introducir en consola es la siguiente:

¹⁶ <http://finance.yahoo.com/q/hp?s=GE>



```

R Console
> rate <-c(2.32,2.78,3.22,3.32,3.5,3.53,3.66,3.81,3.96,4.14,4.36,4.46,5.16,5.21$
> maturity <- c(14.47,20.50,26.47,29.47,32.50,35.50,41.47,44.50,47.50,50.47,59.$
> parametros <- Nelson.Siegel(rate,maturity)
> parametros
      beta_0      beta_1      beta_2      lambda
[1,] 6.07531 -5.158476 -4.049817 0.0998016
>
>
>
>
>
>

```

Ilustración 30 - Consola R CRAN: Comando Yield Curve

$$y(m) = \beta_0 + \beta_1 \frac{[1 - \exp(-m/\tau)]}{m/\tau} + \beta_2 \left(\frac{[1 - \exp(-m/\tau)]}{m/\tau} - \exp(-m/\tau) \right)$$

Ilustración 31 - Expresión de la función de Nelson-Siegel

Las volatilidades se han obtenido como la desviación estándar de los retornos de los instrumentos. Los retornos han sido hallados con la fórmula logarítmica.

$$retorno = \ln\left(\frac{r_1}{r_0}\right)$$

5.5.2 Esquema

Una vez capturados los datos se han construido las siguientes tablas con sus correspondientes relaciones:

- Instrument: Tabla que contiene los nombres de los instrumentos y sus correspondientes códigos.
- Prices: Tabla que contiene los precios por cada una de las fechas de los instrumentos de la lista de la tabla “instrument”, la columna “instrument_code” es clave foránea de la tabla “instrument”.
- Volatility: Tabla que contiene las volatilidades para cada día e instrumento. La columna “instrument_code” es clave foránea de la tabla “instrument”.
- Etti_parameters: Tabla que contiene los parámetros de la curva de tipos de interés para cada día.

Como resultado podemos ver el esquema de la base de datos que se ha obtenido con “MySQL Workbench”.

Vemos que la tabla “instrument” presenta relación “one to many” con las tablas “prices” y “maturity”.

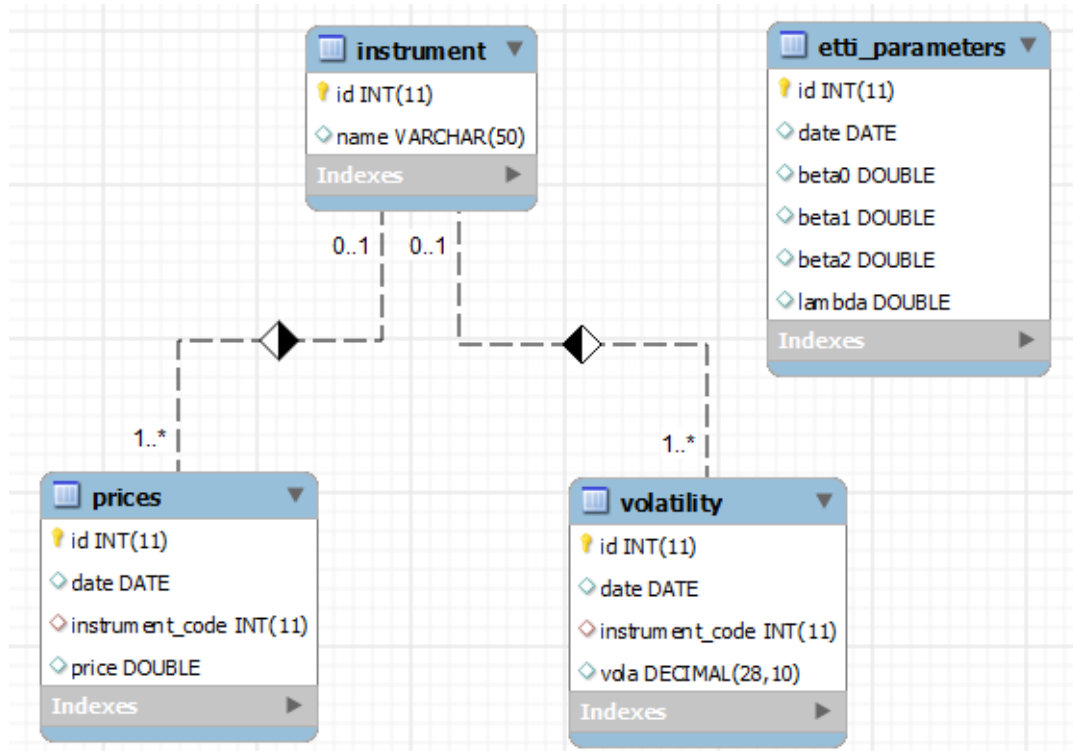


Ilustración 32 - Esquema de base de datos de la aplicación

5.6 La implementación de la aplicación

Una vez creada la base de datos se creó el proyecto en el entorno de desarrollo “SpringToolSuite”.

Se incluyeron los códigos correspondientes para cumplir con los requisitos de alto nivel siguiendo el modelo vista controlador.

Podemos ver la estructura de directorio en la siguiente imagen:

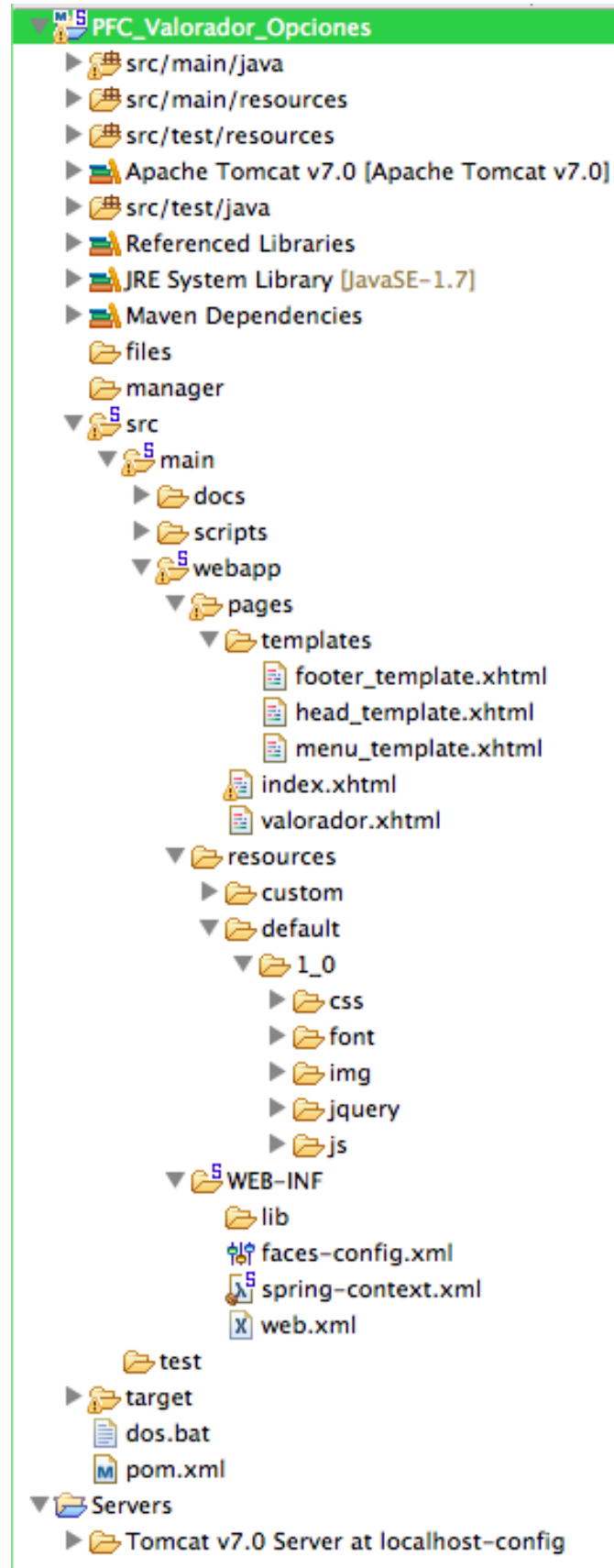


Ilustración 33 - Estructura de directorio de la aplicación

Las estructuras correspondientes a las capas de la aplicación son:

- Modelo: Códigos correspondientes al paquete `es.andrea.model.pricer`
- Vista: Código correspondiente a la carpeta `webApp` donde se encuentra el código de la interfaz de usuario y sus correspondientes hojas de estilo.
- Controlador:
 - Controlador de conexión con la BBDD: El código de la persistencia JPA-
hibernate se encuentra en los siguientes paquetes:
`es.andrea.manager.bbdd.dao`, `es.andrea.manager.bbdd.impl`,
`es.andrea.manager.entity`.
 - Controlador de la interfaz de usuario: El controlador que controla las acciones
del usuario y las relaciona con el modelo de la aplicación está en el paquete
`es.andrea.controller.bean`.

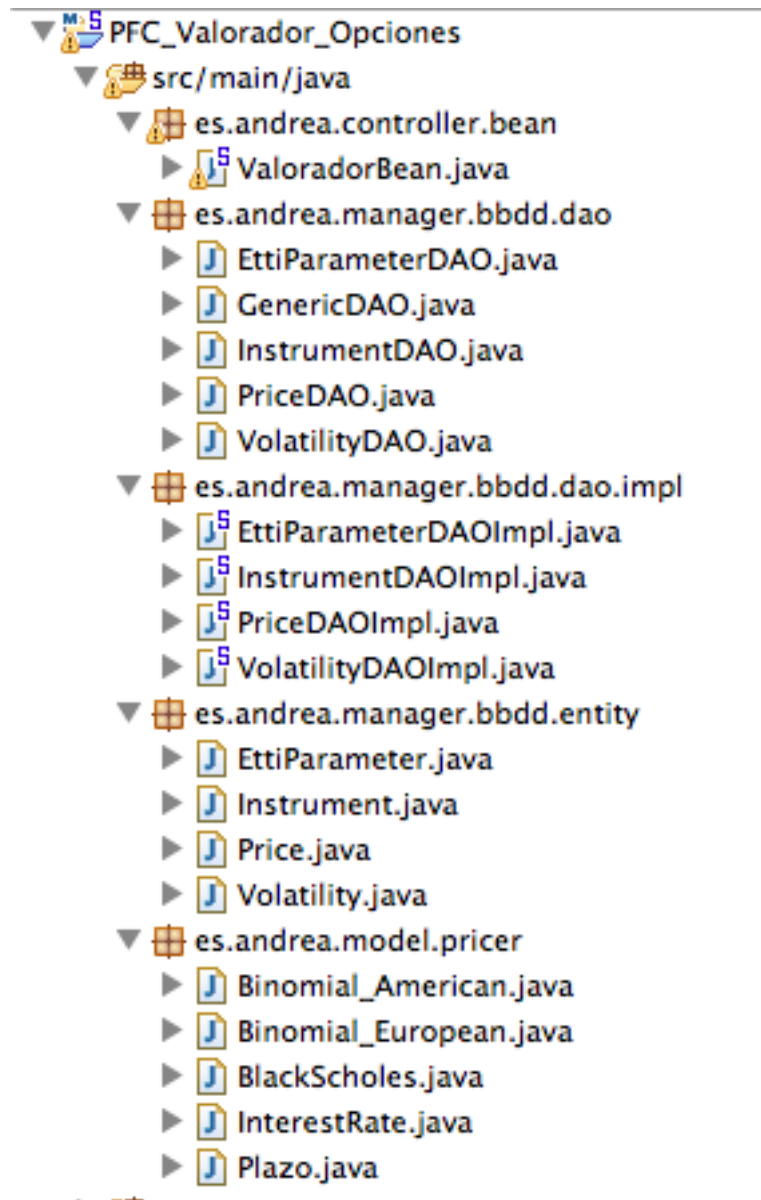


Ilustración 34 - Estructura de directorio `src/main/java`

5.7 Capturas de pantalla

Una vez implementada la aplicación podemos ver algunas capturas de la interfaz de usuario:

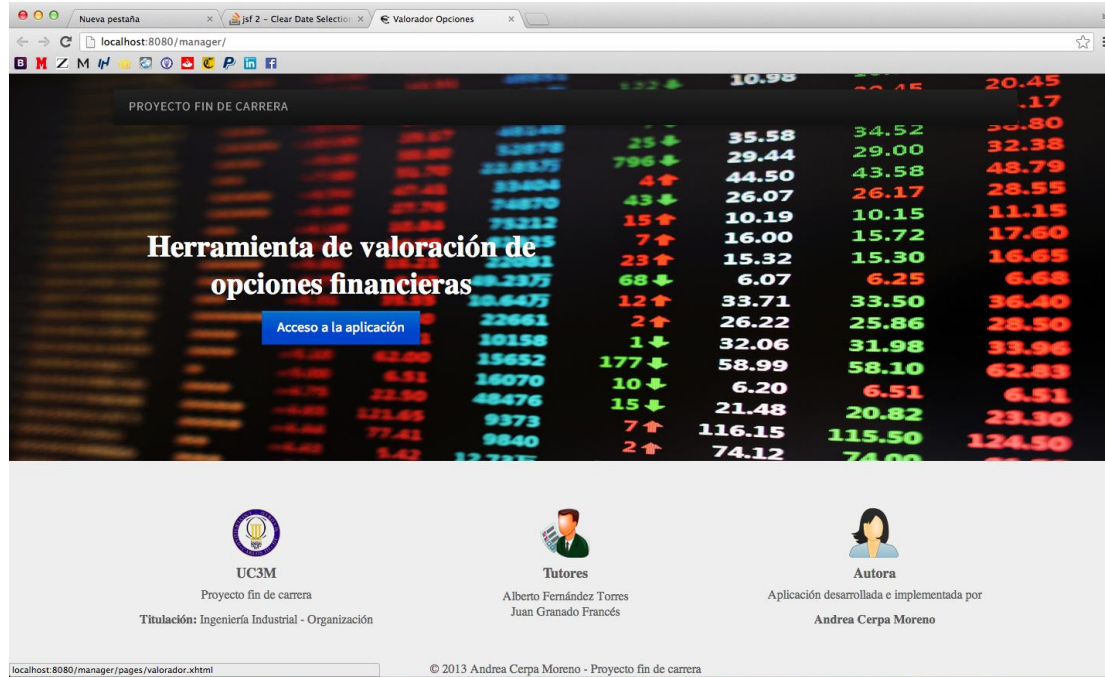


Ilustración 35 - Portada de la aplicación

[VOLVER A PORTADA](#)

Fecha y Modelo de valoración	Parámetros de valoración
Fecha de valoración: <input type="text" value="6/05/13"/>	Activo Subyacente: <input type="text" value="BBVA"/>
Tipo de opción: <input type="text" value="Europea"/>	Precio Spot: <input type="text" value="7.41"/>
Método de valoración: <input type="text" value="Binomial"/>	Volatilidad: <input type="text" value="2,04%"/>
	Fecha de vencimiento: <input type="text" value="26/06/13"/>
	Tipo de interés: <input type="text" value="0,66%"/>
	Precio de Strike: <input type="text" value="7.0"/>
	Dividendos: <input type="text" value="No hay"/>
	Importe del dividendo: <input type="text" value="0.0"/>
	Fecha del dividendo: <input type="text"/>

Call 0.5062	Put 6.0E-4
------------------------------	-----------------------------

Ilustración 36 - Pantalla de valoración de opciones

5.8 Manual de uso del aplicativo

A continuación se explican los pasos para obtener el precio “Call” y “Put” de una opción.

5.8.1 Valoración de opciones sobre acciones o “*Stock Options*”

1. Seleccione la fecha de valoración haciendo click sobre el icono de calendario.

Fecha y Modelo de valoración

Fecha de valoración:

Tipo de opción:

Método de valoración:

Multiplicador:

July 2013

Su	Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31			

Parámetros de valoración

Activo Subyacente: mini-IBEX

Precio Spot:

Volatilidad:

Fecha de vencimiento:

Tipo de interés:

Precio de Strike: 0.0

Dividend Yield: 0.0

Reset
Valorar

Call
Put

Ilustración 37 - Aplicación: selección de fecha de valoración

2. Seleccione el tipo de opción (europea o americana) de la lista seleccionable.

Fecha y Modelo de valoración	Parámetros de valoración
Fecha de valoración: 3/06/13	Activo Subyacente: mini-IBEX
Tipo de opción: Europea	Precio Spot: 8284.4
Método de valoración: <div>Europea</div>	Volatilidad: 26,99%
Multiplicador:	Fecha de vencimiento:
	Tipo de interés:
	Precio de Strike: 0.0
	Dividend Yield: 0.0

Reset

Valorar

Call

Put

Ilustración 38 - Aplicación: selección de tipo de opción

3. Seleccione el método de valoración (Binomial o Black-Scholes) de la lista seleccionable.

Fecha y Modelo de valoración	Parámetros de valoración
Fecha de valoración: 3/06/13	Activo Subyacente: mini-IBEX
Tipo de opción: Europea	Precio Spot: 8284.4
Método de valoración: <div>Binomial</div>	Volatilidad: 26,99%
Multiplicador:	Fecha de vencimiento:
	Tipo de interés:
	Precio de Strike: 0.0
	Dividend Yield: 0.0

Reset

Valorar

Call

Put

Ilustración 39 - Aplicación: selección de algoritmo de valoración

4. Seleccione el multiplicador (Suele ser alrededor de 100 para “Stock Options”).

Fecha y Modelo de valoración	Parámetros de valoración
Fecha de valoración: 3/06/13	Activo Subyacente: mini-IBEX
Tipo de opción: Europea	Precio Spot: 8284.4
Método de valoración: Binomial	Volatilidad: 26,99%
Multiplicador: 100	Fecha de vencimiento:
	Tipo de interés:
	Precio de Strike: 0.0
	Dividend Yield: 0.0

Reset Valorar

Call

Put

Ilustración 40 - Aplicación: selección de multiplicador

5. Seleccione el activo subyacente de la opción.

Fecha y Modelo de valoración	Parámetros de valoración
Fecha de valoración: 3/06/13	Activo Subyacente: mini-IBEX
Tipo de opción: Europea	Precio Spot:
Método de valoración: Binomial	Volatilidad:
Multiplicador: 100	Fecha de vencimiento:
	Tipo de interés:
	Precio de Strike: 0.0
	Dividend Yield: 0.0

Reset Valorar

Call

Put

Ilustración 41 - Aplicación: selección de Stock

Al seleccionar el activo subyacente la aplicación recuperará de la base de datos el precio spot y la volatilidad de la fecha de valoración seleccionada.

Fecha y Modelo de valoración	Parámetros de valoración
Fecha de valoración: <input type="text" value="3/06/13"/>	Activo Subyacente: <input type="text" value="ITX"/>
Tipo de opción: <input type="text" value="Europea"/>	Precio Spot: <input type="text" value="97.22"/>
Método de valoración: <input type="text" value="Binomial"/>	Volatilidad: <input type="text" value="27,44%"/>
Multiplicador: <input type="text" value="100"/>	Fecha de vencimiento: <input type="text"/>
	Tipo de interés: <input type="text"/>
	Precio de Strike: <input type="text" value="0.0"/>
	Dividendos: <input type="text" value="No hay"/>
	Importe del dividendo: <input type="text" value="0.0"/>
	Fecha del dividendo: <input type="text"/>

Call

Put

Ilustración 42 - Aplicación: consulta automática se Spot y volatilidad

6. Seleccione la fecha de vencimiento pulsando el icono del calendario. Automáticamente se recuperará de la base de datos la calibración correspondiente a la curva de tipos de interés de esa fecha y la aplicación calculará el tipo de interés libre de riesgo.

Fecha y Modelo de valoración	Parámetros de valoración
Fecha de valoración: <input type="text" value="3/06/13"/>	Activo Subyacente: <input type="text" value="ITX"/>
Tipo de opción: <input type="text" value="Europea"/>	Precio Spot: <input type="text" value="97.22"/>
Método de valoración: <input type="text" value="Binomial"/>	Volatilidad: <input type="text" value="27,44%"/>
Multiplicador: <input type="text" value="100"/>	Fecha de vencimiento: <input type="text"/>
	Tipo de interés: <input type="text"/>
	Precio de Strike: <input type="text" value="0.0"/>
	Dividendos: <input type="text" value="No hay"/>
	Importe del dividendo: <input type="text" value="0.0"/>
	Fecha del dividendo: <input type="text"/>

Call

Put

July 2013						
Su	Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		

Ilustración 43 - Aplicación: selección de vencimiento

7. Introduzca el valor del precio de ejercicio o precio Strike de la opción.

Ilustración 44 - Aplicación: consulta de tipo de interés

8. Si durante el plazo del contrato de la opción existe pago de dividendos en el activo subyacente seleccione la opción “Dividendo discreto” en la lista desplegable de dividendos y a continuación introduzca el valor del dividendo y la fecha de pago. Si no existe pago de dividendos seleccione la opción “No hay”.

Ilustración 45 - Aplicación: selección de dividendos

Fecha y Modelo de valoración	Parámetros de valoración
Fecha de valoración: <input type="text" value="3/06/13"/>	Activo Subyacente: <input type="text" value="ITX"/>
Tipo de opción: <input type="text" value="Europea"/>	Precio Spot: <input type="text" value="97.22"/>
Método de valoración: <input type="text" value="Binomial"/>	Volatilidad: <input type="text" value="27,44%"/>
Multiplicador: <input type="text" value="100"/>	Fecha de vencimiento: <input type="text" value="25/07/13"/>
	Tipo de interés: <input type="text" value="0,67%"/>
	Precio de Strike: <input type="text" value="98"/>
	Dividendos: <input type="text" value="Discreto"/>
	Importe del dividendo: <input type="text" value="6"/>
	Fecha del dividendo: <input type="text" value="1/07/13"/>

Call

Put

Ilustración 46 - Aplicación: dividendos discretos

9. Haga click sobre el botón “Valorar” y la valoración aparecerá en los paneles inferiores.

Fecha y Modelo de valoración	Parámetros de valoración
Fecha de valoración: <input type="text" value="3/06/13"/>	Activo Subyacente: <input type="text" value="ITX"/>
Tipo de opción: <input type="text" value="Europea"/>	Precio Spot: <input type="text" value="97.22"/>
Método de valoración: <input type="text" value="Binomial"/>	Volatilidad: <input type="text" value="27,44%"/>
Multiplicador: <input type="text" value="100"/>	Fecha de vencimiento: <input type="text" value="25/07/13"/>
	Tipo de interés: <input type="text" value="0,67%"/>
	Precio de Strike: <input type="text" value="98.0"/>
	Dividendos: <input type="text" value="Discreto"/>
	Importe del dividendo: <input type="text" value="6.0"/>
	Fecha del dividendo: <input type="text" value="1/07/13"/>

Call
1570.7053€

Put
2048.6713€

Ilustración 47 - Aplicación: valoración

10. Si desea valorar más opciones basta con cambiar los parámetros necesarios y volver a pulsar el botón “Valorar”.

11. Si desea restablecer todos los campos pulse el botón “Reset”.

The screenshot displays a web application interface for option valuation. It is divided into two main sections: 'Fecha y Modelo de valoración' (Date and Valuation Model) on the left and 'Parámetros de valoración' (Valuation Parameters) on the right. Below these sections are two buttons, 'Reset' (orange) and 'Valorar' (green), and two tabs, 'Call' and 'Put'.

Fecha y Modelo de valoración		Parámetros de valoración	
Fecha de valoración:	<input type="text"/>	Activo Subyacente:	<input type="text" value="mini-IBEX"/>
Tipo de opción:	<input type="text" value="Europea"/>	Precio Spot:	<input type="text"/>
Método de valoración:	<input type="text" value="Binomial"/>	Volatilidad:	<input type="text"/>
Multiplicador:	<input type="text" value="100"/>	Fecha de vencimiento:	<input type="text"/>
		Tipo de interés:	<input type="text"/>
		Precio de Strike:	<input type="text" value="0.0"/>
		Dividend Yield:	<input type="text" value="0.0"/>

Buttons: **Reset** (orange), **Valorar** (green)

Tabs: **Call**, **Put**

Ilustración 48 - Aplicación: reset

5.8.2 Valoración de índices (mini-IBEX)

1. Siga los pasos del uno al siete de “Stock Options” con la diferencia de que en el activo subyacente deberá seleccionar “mini-IBEX”. Además el multiplicador deberá ser 1 para aproximarse a la realidad del mercado.

Fecha y Modelo de valoración	Parámetros de valoración
Fecha de valoración: <input type="text" value="3/06/13"/>	Activo Subyacente: <input type="text" value="mini-IBEX"/>
Tipo de opción: <input type="text" value="Europea"/>	Precio Spot: <input type="text" value="8284.4"/>
Método de valoración: <input type="text" value="Binomial"/>	Volatilidad: <input type="text" value="26,99%"/>
Multiplicador: <input type="text" value="1"/>	Fecha de vencimiento: <input type="text" value="25/07/13"/>
	Tipo de interés: <input type="text" value="0,67%"/>
	Precio de Strike: <input type="text" value="8200.0"/>
	Dividend Yield: <input type="text" value="0.0"/>

Reset Valorar

Call

Put

Ilustración 49 - Aplicación: Selección de índice mini-IBEX

- Ya que es un índice el pago de dividendos se especificará mediante una tasa “*yield*” que deberá introducir el usuario. A continuación pulsar el botón “Valorar” para obtener el precio.

Fecha y Modelo de valoración	Parámetros de valoración
Fecha de valoración: <input type="text" value="3/06/13"/>	Activo Subyacente: <input type="text" value="mini-IBEX"/>
Tipo de opción: <input type="text" value="Europea"/>	Precio Spot: <input type="text" value="8284.4"/>
Método de valoración: <input type="text" value="Binomial"/>	Volatilidad: <input type="text" value="26,99%"/>
Multiplicador: <input type="text" value="1"/>	Fecha de vencimiento: <input type="text" value="25/07/13"/>
	Tipo de interés: <input type="text" value="0,67%"/>
	Precio de Strike: <input type="text" value="8200.0"/>
	Dividend Yield: <input type="text" value="0.003"/>

Reset Valorar

Call
1611.9406€

Put
1436.6169€

Ilustración 50 - Aplicación: valoración mini-IBEX

Capítulo 6: Aplicaciones existentes en el mercado

Podemos encontrar calculadoras de opciones similares en las páginas web de los principales mercados organizados de derivados financieros.

Como hemos visto en capítulos anteriores en España el mercado organizado para opciones y futuros es el MEFF.

A continuación se muestran imágenes de las calculadoras de opciones del “London Metal Exchange” y del MEFF:

Options calculator

Strike price \$ * ?

Expiration month Aug 2013 * ?

Market price for prompt date \$ * ?

Volatility (%) price for prompt date % * ?
range of 5% - 60%


Interest rate (%) % * ?
range of 0% - 30%

Clear **Calculate**

Expiration date: Prompt date:	Call ?	Put ?
Premium ?		
Delta ?		
Gamma ?		
Theta ?		
Vega ?		

Ilustración 51 - Calculadora de opciones London Metal Exchange

Calculadora de Opciones

Entrada de datos		Resultados	
<input checked="" type="radio"/> Manual <input type="radio"/> Automático Limpiar			
Seleccionar BBVA			
Banco Bilbao Vizcaya Argentaria			
Cotización Subyacente	6,32	Prima	<input type="text"/>
Precio Ejercicio	<input type="text"/>	Delta	<input type="text"/>
Fecha	<input type="text"/> 	Gamma	<input type="text"/>
Días a Vencimiento	<input type="text"/>	Theta	<input type="text"/>
Volatilidad(%)	<input type="text"/>	Vega	<input type="text"/>
Tipo Interés(%)	<input type="text"/>	Rho	<input type="text"/>
La fecha tiene que ser superior a la fecha de hoy			
Modelo de Valoración <input type="radio"/> Black'76 <input type="radio"/> Black Scholes <input checked="" type="radio"/> Binomial		Volatilidad Implícita Calcular	
Opciones sobre el índice		Call	Put
		<input type="text"/>	<input type="text"/>

El contenido de estas páginas es puramente informativo y no supone oferta de contratación ni constituye información oficial y vinculante para **MEFF**.

Por tanto, **MEFF** no se hace responsable de los errores, alteraciones u omisiones que pueda contener, sean producidos al suministrar los datos por los procedimientos regulares o por acceso o utilización indebidos o de las fuentes de suministro de dicha información, ni de la falta de adecuación de la información al tiempo real, por lo que ni **MEFF** ni ninguno de sus empleados o directivos será responsable por cualquier tipo de daño o perjuicio, cualquiera que fuese, que pudiera derivarse de las anteriores circunstancias.

Ilustración 52 - Calculadora de opciones MEFF

También podemos encontrar precios de opciones en sistemas de información de mercados en tiempo real como los terminales Bloomberg.

Sin embargo, cuando un inversor tiene una cartera de inversión compuesta por varios tipos de instrumentos financieros necesita una herramienta que valore toda la cartera. Por este motivo las aplicaciones de pricing que se utilizan en los departamentos de riesgo de las instituciones financieras son soluciones totales de valoración. Por lo tanto cuentan con valoradores para cada tipo de instrumento financiero (Equity, Renta fija, Swap, Futuro, Forward, fondo de inversión, CDS, etc.). Además por lo general las carteras de inversión contienen productos OTC, los cuales pueden ser productos estructurados o derivados exóticos, los cuales son más difíciles de valorar.

Un ejemplo de estas herramientas es Sungard FastVal.

Capítulo 7: Posibles mejoras y extensiones

En este capítulo se explicarán las posibles mejoras y extensiones de la aplicación de valoración de opciones desarrollada.

7.1 Mejoras

Se proponen las siguientes mejoras:

- Implementar más métodos de valoración de opciones como el método de simulación Monte Carlo (éste método consiste en simular la evolución de la opción siguiendo un movimiento browniano¹⁷): Este método daría mayor amplitud al surtido de algoritmos de valoración logrando tener en la misma aplicación un método discreto, otro continuo y uno de simulación.
- Incluir más productos en la base de datos: Se propone introducir más activos subyacentes y en más fechas para que el usuario tenga más alternativas de valoración.
- Incluir más métodos para el cálculo de la volatilidad: Se propone implementar métodos más avanzados de cálculo de volatilidad como “volatility smile”. Este se obtiene a partir de históricos de volatilidades implícitas de opciones.
- Incluir más métodos de obtención de la curva de tipos de interés: Se propone implementar el método de Nelson-Siegel-Svensson para un cálculo más exacto de los tipos de interés.

7.2 Extensiones

Se proponen las siguientes extensiones:

- Datos en tiempo real: Se podría implementar un servicio de fetch, consolidación y validación de datos en tiempo real o precio de fin de día para tener todo el tiempo precios disponibles para todos los activos. Para implementar este servicio se tendría

¹⁷ Un browniano es una distribución compuesta por una parte determinista y otra aleatoria.

que implementar un sistema de parseo de ficheros a importar de empresas de información financiera como Six-Telekurs, Bloomberg o Reuters.

- Incluir el cálculo de medidas de riesgo junto con la valoración de las opciones financieras ya que la gestión del riesgo y trading se apoya de estas medidas. Las medidas de riesgo habituales son llamadas “griegas” y las principales son:
 - Delta: Sensibilidad de la opción con respecto al subyacente (primera derivada)
 - Gamma: Sensibilidad de la opción con respecto al subyacente (segunda derivada)
 - Vega: Sensibilidad del precio de la opción con respecto a la volatilidad.
 - Rho: Sensibilidad del precio de la opción con respecto a la tasa de interés libre de riesgo.

Capítulo 8: Presupuesto

Este proyecto se ha llevado mediante la siguiente planificación:

9.1 Tareas y Gantt

Las tareas de este proyecto han sido divididas atendiendo a la elaboración de cada uno de los capítulos.

Las tareas principales son:

1. Documentación previa y planificación: Fase en la que me he documentado acerca de los productos financieros y las herramientas de desarrollo de aplicaciones empresariales. Una vez obtenido este conocimiento procedí a elaborar esta planificación y redactar una propuesta en firme.
2. Propuesta de PFC: Fase en la que se presentó una propuesta de este proyecto y se le realizaron las modificaciones necesarias para ser aceptada. A nueve de Abril de 2013 fue aceptada.
3. Redacción de capítulo teórico sobre los derivados financieros y en particular las opciones. Su fecha de inicio fue el 23 de Abril y se finalizó el 9 de Mayo.
4. Métodos de valoración: Luego de explicar la teoría sobre las opciones de procedió a explicar los algoritmos de valoración.
5. Desarrollo de algoritmos: Una vez explicados los algoritmos de procedió a implementarlos y se incluyeron ejemplos de los más importantes en esta memoria.
6. Desarrollo de la aplicación: En esta tarea se realizaron todas las tareas para construir la aplicación de valoración de opciones. Ha sido la etapa más larga ya que cumplir con los requisitos para valorar una opción correctamente necesitaba muchas herramientas de desarrollo.
7. Herramientas en el mercado: En esta tarea se procedió a investigar herramientas existentes en el mercado que realicen la misma función. Se explica cada una de ellas.
8. Mejoras y extensiones: en esta tarea se analizaron las posibles mejoras y extensiones de la aplicación.
9. Conclusiones: Redacción de conclusiones
10. Introducción: Una vez finalizadas todas las tareas de procedió a realizar un resumen de una página con la esencia de este proyecto.
11. Revisión: Tarea de revisión con los tutores.
12. Elaboración de PowerPoint: Se procedió a realizar la presentación para la defensa del proyecto.

13. Tareas varias de ensayos y revisiones.

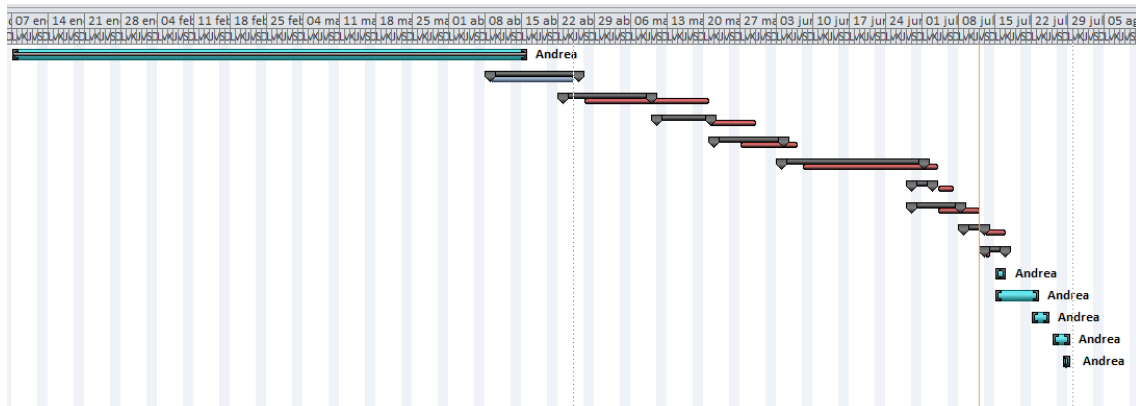
Todas estas tareas han sido llevadas mediante la herramienta Microsoft Project con la cual se ha ido actualizando el estado de estas. Podemos ver el listado de tareas de a continuación:

Id		Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	Nombres de los recursos
1	✓		Documentación previa y plan	65 días	lun 07/01/13	vie 05/04/13		Andrea
2	✓		Propuesta de PFC	13 días	mar 09/04/13	mar 09/04/13		Andrea
3	✓		Propuestas	12 días	mar 09/04/13	mié 24/04/13		Andrea
4	✓		Propuesta de PFC	6 días	mar 09/04/13	mar 16/04/13		Andrea
5	✓		Propuesta de índice	0,38 días	mié 17/04/13	mié 24/04/13	1	Andrea
6	✓		Capítulo 2: Acerca de las opciones	13 días	mar 23/04/13	jue 09/05/13		Andrea
7	✓		Derivados financieros	3 días	sáb 27/04/13	mar 30/04/13		Andrea
8	✓		Tipos de derivados financieros	6 días	lun 29/04/13	lun 06/05/13		Andrea
9	✓		Mercados donde se opera	4 días	dom 05/05/13	mié 08/05/13		Andrea
10	✓		Opciones	9 días	mié 08/05/13	lun 20/05/13		Andrea
11	✓		Introducción a opciones	1,5 días	mié 08/05/13	vie 10/05/13		Andrea
12	✓		Tipos de Opciones	1,5 días	sáb 11/05/13	mar 14/05/13		Andrea
13	✓		Factores que intervienen	2,25 días	mar 14/05/13	lun 20/05/13		Andrea
14	✓		Capítulo 3: Métodos de Valoración	7,5 días	sáb 11/05/13	mar 21/05/13		Andrea
15	✓		Binomial	2,5 días	mar 21/05/13	jue 23/05/13		Andrea
16	✓		Black-Scholes	1,5 días	vie 24/05/13	dom 26/05/13		Andrea
17	✓		Capítulo 4: Desarrollo de la aplicación	9,5 días	mié 22/05/13	mar 04/06/13		Andrea
18	✓		Binomial	4 días	lun 27/05/13	jue 30/05/13		Andrea
19	✓		Documentación del código	2 días	lun 27/05/13	mar 28/05/13		Andrea
20	✓		Black-Scholes	4 días	lun 27/05/13	jue 30/05/13		Andrea
21	✓		Documentación del código	2 días	lun 27/05/13	mar 28/05/13		Andrea
22	✓		Capítulo 5: Desarrollo de la aplicación	19,5 días	mar 04/06/13	lun 01/07/13		Andrea
23	✓		Valoración de tipos de aplicación	2 días	sáb 08/06/13	dom 09/06/13		Andrea
24	✓		Arquitectura de la aplicación	3 días	lun 10/06/13	mié 12/06/13		Andrea
25	✓		Instalación y configuración	4 días	lun 10/06/13	jue 13/06/13		Andrea
26	✓		BBDD	3 días	mar 11/06/13	jue 13/06/13		Andrea
27	✓		Codificación de la interfaz	2 días	vie 14/06/13	lun 17/06/13		Andrea
28	✓		Conexión con algoritmos	4 días	lun 17/06/13	jue 20/06/13		Andrea
29	✓		Conexión con BBDD	2 días	mié 19/06/13	jue 20/06/13		Andrea
30	✓		Consolidación de la aplicación	3 días	jue 20/06/13	lun 24/06/13		Andrea
31	✓		Pruebas de usuario	11 días	lun 17/06/13	lun 01/07/13		Andrea
32	✓		Desarrollo de la ayuda al usuario	1 día	mié 26/06/13	mié 26/06/13		Andrea
33	✓		Manual del usuario	3 días	jue 27/06/13	sáb 29/06/13		Andrea
34	✓		Modificaciones	4 días	sáb 29/06/13	mié 03/07/13		Andrea
35			Capítulo 6: Aplicaciones existentes	3 días	sáb 29/06/13	mar 02/07/13		Andrea
36			Investigación	3 días	jue 04/07/13	sáb 06/07/13		Andrea
37			Documentación y comparación	2 días	vie 05/07/13	sáb 06/07/13		Andrea
38			Capítulo 7: Mejoras y extensiones	6,5 días	sáb 29/06/13	lun 08/07/13		Andrea
39			Mejoras	5 días	jue 04/07/13	mié 10/07/13		Andrea
40			Propuestas para futuros desarrollos	2 días	mié 10/07/13	jue 11/07/13		Andrea
41			Capítulo 8: Conclusiones	4 días	mar 09/07/13	vie 12/07/13		Andrea
42			Elaboración de conclusiones	3 días	sáb 13/07/13	mar 16/07/13		Andrea
43			Capítulo 1: Introducción	3 días	sáb 13/07/13	mar 16/07/13		Andrea
44			Redacción de introducción					Andrea
45			Revisión, modificaciones, cambios	2 días	lun 15/07/13	mar 16/07/13		Andrea
46			Elaboración del PPT	6,5 días	lun 15/07/13	mar 23/07/13		Andrea
47			Revisión de PPT	3,5 días	lun 22/07/13	jue 25/07/13		Andrea
48			Ensayos de presentación	1,5 días	vie 26/07/13	lun 29/07/13		Andrea
49			Revisión final	1,5 días	dom 28/07/13	lun 29/07/13		Andrea

También podemos ver el diagrama de Gantt del proyecto a continuación:

Fecha de inicio: 7 de enero de 2013

Fecha de presentación programada: 29 de Julio de 2013



9.2 Recursos

Para la elaboración de este proyecto se requieren los siguientes recursos:

- Recursos humanos:
 - Ingeniero Junior: 408 horas (35€ hora).
 - Director área funcional: 15 horas (100€ hora).
 - Director área técnica: 15 horas (80€ hora).
- Otros recursos:
 - Ordenador adecuado para la documentación y desarrollo de la aplicación: 600€

9.1 Presupuesto

El presupuesto total de este proyecto asciende a la cantidad de 17580.00€ desglosado en los siguientes costes:

Recurso	Precio por hora	Número de horas	Total
Ingeniero Junior	35	408	14280.00€
Director funcional	100	15	1500.00€
Director técnico	80	15	1200.00€
Otros recursos			600.00€
TOTAL			17580.00€

Conclusiones

1. La valoración de una opción depende de seis factores: El precio del activo subyacente, la tasa de interés libre de riesgo, el plazo, la volatilidad del activo subyacente, el precio de ejercicio y el posible pago de dividendos.
2. El método binomial es más costoso en términos de tiempo computacional ya que es un método discreto y por lo tanto se implementa con un algoritmo iterativo. Por otro lado el método Black-Scholes es un método continuo (una fórmula) y su coste computacional es muy bajo.
3. Pese a que el método de Black-Scholes presenta muchas limitaciones en cuanto a su aproximación es el método más utilizado por su simplicidad y coste computacional.
4. Según la aplicación que se le de a la valoración de la opción financiera se debe seleccionar un equilibrio entre el algoritmo y los recursos que consume en términos computacionales.
5. El MVC (modelo vista controlador) presenta una ventaja con respecto al desarrollo de una aplicación ya que se pueden gestionar las capas de manera independiente. Como consecuencia los cambios y mejoras resultan más sencillos.

Referencias

1. Alan Beaulieu. Aprende SQL- Segunda edición
2. Anghel Leonard. Jsf 2.0 Cookbook: Lite Edition
3. Bruce Eckel. Thinking in Java – Cuarta edición
4. Comisión nacional del mercado de valores e instituto MEFF. Guía de opciones y futuros. Julio 2006
5. Enciclopedia de Economía, Finanzas y Negocios. CISS (Grupo Wolters Kluwer). Madrid: El Mundo / Expansión, 2010.
6. Espen Gaarder Haug. The complete Guide to Option Pricing Formulas
7. F. Javier Moldes Teo. Java 7 Manual Indispensable-Primera edición
8. George Levy DPhil University of Oxford. Computational Finance
9. Investopedia.com. Para la búsqueda de definiciones económicas
10. Investorwords.com. Para la búsqueda de definiciones económicas
11. John Hull (2010). *Options, Futures and Other Derivatives* – Séptima edición
12. Joshua Bloch. Effective Java – Segunda edición
13. Michael Durbin. All about Derivatives – Second edition
14. Peter James. Option Theory (The Willey Finance Series).

15. PlanetaForex.com. Recuperado el 26 de abril de 2013.

<http://planetaforex.com/mercado-de-derivados-financieros-opciones-forwards-swaps-digital-contratos/>

16. René M. Stulz (2004). Should we fear derivatives? Journal of Economic Perspectives—
Volume 18, Number 3—Summer 2004—Pages 173–192

17. Srirangan. Apache Maven 3 Cookbook – First Edition

18. Stefano M. Iacus. Option Pricing and Estimation of Financial Models with R